

UNIVERSITÉ DE LYON

Année : 1964

N° 510

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE
DE LYON

THÈSE

PRÉSENTÉE DEVANT

LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE DE LYON

POUR OBTENIR

LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(Section de Pharmacie)

PAR

Jacques CHALABREYSSE

né le 23 juillet 1934

à MONTÉLIMAR (Drôme)

Surveillance du personnel exposé professionnellement
aux radiations ionisantes (rayons X)

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté Mixte
de Médecine et de Pharmacie de Lyon
le 28 octobre 1964

UNIVERSITÉ DE LYON

Année : 1964

N° 510

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE
DE LYON

THÈSE

PRÉSENTÉE DEVANT

LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE DE LYON

POUR OBTENIR

LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(Section de Pharmacie)

PAR

Jacques CHALABREYSSE

né le 23 juillet 1934

à MONTÉLIMAR (Drôme)

Surveillance du personnel exposé professionnellement
aux radiations ionisantes (rayons X)

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté Mixte
de Médecine et de Pharmacie de Lyon

le 28 octobre 1964

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Doyens Honoraires

M.J. LEPINE - Membre de l'Institut
M.H. HERMANN - Correspondant de l'Institut

Doyen

M. J.F. CIER

Assesseurs

MM. M. LEVRAT
L. REVOL

Professeurs Honoraires

MM. COLLET, GUIART, PATEL, LEPINE, TRILLAT, MOURQUAND, MAZEL, GARIN, GATE,
MARTIN, GABRIELLE, SANTY, DUCLOS, GUILLEMINET, HERMANN, ROCHET, POLLOSSON .

Professeurs

MM. CIBERT	Clinique Urologique	MM. GIRARD Paul	Pathologie générale et expérimentale
PONTHUS (détaché à Beyrouth)	Physique Biologique	LATARJET	Anatomie
DECHAUME	Clinique Neuro-psychiatrique et d'Hygiène mentale	PEYCELON	Pathologie chirurgicale
CHAMBRON	Chimie organique et toxicologie	GIRARD Marcel	Clinique médicale D.
WERTHEIMER	Clinique chirurgicale P.	VACHON	Pathologie médicale
PAUPERT-RAVAULT	Clinique Médicale B.	GALY	Physio-pathologie des voies respiratoires
FROMENT	Clinique et prophylaxie cardio-vasculaires	PAPILLON	Radiologie
CROIZAT	Clinique médicale C.	JEUNE	Clinique médicale Infantile et Hygiène du 1er âge
ENSELME	Chimie biologique et médicale	GONIN	Hydrologie thérapeutique, climatologie et écologie sociale
MALLET GUY	Clinique Chirurgicale A.	MONNET	Bactériologie
REVOL	Pharmacie galénique	BANSSILLON	Physiologie et pathologie obstétricales
PIGEAUD	Clinique Obstétricale	CHATONNET	Physiologie B.
BOURRET	Médecine du Travail	GUINET	Clinique endocrinologique
LEVRAT	Clinique Médicale A.	TRILLAT	Clinique de chirurgie orthopédique
SOHIER	Hygiène et action sanitaire et sociale	FREIDEL	Clinique stomatologique
NETTEN	Botanique et cryptogamie	MARION Joseph	Clinique de chirurgie et d'orthopédie infantiles
BERTRAND	Clinique Chirurgicale C.	DORCHE	Matière médicale et législation pharmaceutique
BADINAND	Chimie Analytique Pharmaceutique	DUMONT Louis	Histologie et embryologie
DREVON	Pharmacie Chimique et Pharmacologie	PERROT	Chimie
ROCHE	Médecine légale et dentologie	CIER J.F.	Physiologie A.
COUDERT	Parasitologie et pathologie exotique	PERRIN J.	Thérapeutique chirurgicale et chirurgie opératoire
MOUNIER-KUHN	Clinique d'Oto-rhino-laryngologie et d'audio-phonologie	MICHAUD Pierre	Clinique de Chirurgie cardiaque
PAUFIQUE	Clinique ophtalmologique	X.....	Clinique des maladies infectieuses
THIERS	Clinique de dermatologie, syphiligraphie et allergologie	X.....	Biologie médicale et pharmacodynamie
BRUN	Clinique de perno-ptisiologie	X.....	Clinique gynécologique
CREYSSEL	Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique		Thérapeutique
DARGENT	Clinique carcinologique		
GUICHARD	Anatomie pathologique		

Professeurs à titre personnel

MM. BERGER	Physique nucléaire appliquée à la médecine	MM. LIARAS	Clinique chirurgicale propédeutique
BERTOYE	Bactériologie	LECUIRE	Neuro-chirurgie
MANSUY	Neuro-chirurgie	REVOL	Médecine générale
COLLET	Chimie générale et pharmaceutique	GOINARD	Thérapeutique chirurgicale
SARROUY	Clinique de pédiatrie et puériculture	CIER André	Pharmacie Chimique et Pharmacologie
LACROIX	Hygiène et climatologie	PONT Maurice	Médecine Générale

Professeurs sans chaire

MM. ROMAN	Parasitologie	MM. de SOLLIERS	Chimie Analytique
FERROLDI	Anatomie pathologique	DESPIERRES	Médecine générale
MORET	Physique biologique	TOLOT	Médecine du Travail
ODDOUX	Botanique et cryptogamie	GARIN	Parasitologie

Maîtres de conférences-agrégés titulaires

MM. CREYSSEL Roger	Chimie biologique	MM. MICHEL	Anesthésiologie
THIVOLET	Hygiène	FRANCOIS	Pédiatrie et puériculture
FINET	Electro-Radiologie	MICHOULIER	Chirurgie générale
GUYOTAT	Neuro-psychiatrie	COLOMBE	Dermatologie
DESCOTES	Chirurgie générale	LAMBERT	Médecine Générale
JOUVET	Pathologie expérimentale	FRIES	Médecine Générale
PEYRIN	Physique biologique	GILLY	Pédiatrie
TOMMASI	Anatomie pathologique	ROBERT	Médecine générale
BUFFARD	Electro-radiologie	BOUCHET	Anatomie
LEJEUNE	Médecine générale et thérapeutique	BETHENOD	Pédiatrie
De MOURGUES F.	Stomatologie	GERMAIN	Immunologie, sérologie, hématologie
NAUSSAC	Maladies infectieuses	LARBRE	Pédiatrie
REBOUILLAT	Chirurgie générale	SOUSTELLE	Chirurgie générale
ROMAGNY	Pédiatrie	VIALA	Médecine générale
DELAHAYE	Médecine Générale	VINCENT	Bactériologie, parasitologie, virologie
DELEUZE	Anesthésiologie	KALB	Pneumo-ptisiologie
GIRAUD	Electro-radiologie diagnostic et thérapeutique		

Maîtres de conférences-agrégés stagiaires

MM. FAVRE-GILLY	Hématologie	MM. RIFFAT	Hygiène
GIROD	Histologie et embryologie	FAUCON	Biologie médicale et pharmacodynamie
GRAS	Chimie biologique	FLANDROIS	Physiologie
MALLEIN	Chimie analytique	VALLIER-RAYNARD	Bactériologie

Agrégés en exercice

MM. BONAMOUR	Ophtalmologie	MM. GAILLARD	Oto-rhino-laryngologie
COLIN	Médecine légale	GARDE	Médecine générale
de MOURGUES Georges	Chirurgie générale	HUCONNIER	Ophtalmologie
DEVIC	Chirurgie générale	MARET	Chirurgie générale
DUMONT Martial	Obstétrique	MORNEX	Médecine générale
DURAND	Urologie	NORMAND	Médecine générale
FRANCILLON	Chirurgie générale	PERRIN André	Médecine générale
SAUBIER	Chirurgie générale	DUMAS	Stomatologie
SCHOTT	Neuro-psychiatrie	GARMIER	Obstétrique
ALLEGRE	Neuro-chirurgie	NOEL	Médecine générale
CHASSARD	Electro-radiologie	SCHNEPP	Orthopédie
FAYSSE	Orthopédie		

Examinateurs de la Thèse

Président : M. le Professeur CROIZAT
Assesseurs : MM. Pr BOURRET, Pr BADINAND, Pr MALLEIN

A MON PERE ET A MA MERE - A MA FEMME

Je leur dois beaucoup.

Que ce travail soit à leurs yeux une
preuve de mon amour.

A MES ENFANTS

A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS

A TOUS MES AMIS



A NOTRE PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR P. CROIZAT

Professeur de Clinique Médicale

Il nous a guidé dans notre travail et nous
a fait le très grand honneur d'accepter la pré-
sidence de cette thèse.

Qu'il veuille bien trouver ici l'expres-
sion de notre respectueuse gratitude.

A NOS JUGES :

MONSIEUR LE PROFESSEUR BOURRET

Professeur de Médecine du Travail

MONSIEUR LE PROFESSEUR BADINAND

Professeur de Chimie Analytique Pharmaceutique

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGREGÉ R. MALLEIN

Professeur de Chimie Analytique

Nous les remercions de l'honneur qu'ils
nous font de juger notre travail.

A MONSIEUR LE DOCTEUR DETRY

Il nous a fourni les données de notre
étude qu'il trouve ici l'expression de nos
remerciements.

A mes Chefs de Service au Commissariat à l'Energie Atomique, particulièrement à Monsieur le Docteur ELY qui m'a encouragé à entreprendre et poursuivre ce travail.

INTRODUCTION

Depuis toujours l'homme a vécu dans un rayonnement ambiant naturel et son organisme s'est adapté à ce milieu. Mais il a réussi à produire des radiations artificielles dont l'intensité est plus nocive que les radiations naturelles.

On peut distinguer 4 origines à l'irradiation externe :

- *Les radioéléments naturels ou artificiels*

L'irradiation externe de l'organisme produite par les radioéléments naturels contenus dans les matériaux qui nous entourent et par le rayonnement cosmique est le plus souvent de 0,1 rem par an, mais peut parfois atteindre des valeurs plus élevées (jusqu'à 1 rem par an) selon la nature du terrain et l'altitude du lieu où l'on se trouve.

- *Les sources de neutrons rapides*

- *Les réacteurs nucléaires*

- *Les accélérateurs de particules*

parmi lesquels on peut ranger les générateurs de rayons X.

Nous nous proposons d'étudier la surveillance du personnel professionnellement exposé aux radiations ionisantes. Nous envisageons cette surveillance tant du point de vue Physique (Dosimétrie), que du point de vue Biologique (Hématologie).

L'étude portera sur le groupe d'individus suivant :

les Infirmiers Radiologues et Manipulateurs de générateurs de Rayons X des Hospices Civils de LYON.

Notre travail sera divisé en 8 parties.

1/ Nous rappellerons brièvement les méthodes d'obtention des rayons X, leurs caractéristiques, leur nature, leur mode d'interaction avec la matière.

2/ Nous envisagerons les bases de la dosimétrie et les unités d'exposition et de dose absorbée couramment utilisées.

3/ Nous montrerons l'action biologique néfaste des radiations ionisantes sur l'organisme humain.

4/ Considérant les dangers entraînés par une irradiation, nous montrerons comment ont été établies les normes professionnelles.

5/ Nous exposerons les méthodes physiques (dosimétrie collective et individuelle) et la méthode biologique (basée sur la surveillance systématique de l'hémogramme) utilisées pour faire respecter ces normes professionnelles.

6/ En application nous étudierons l'influence, sur l'hémogramme des manipulateurs radio, des rayons X subis à doses répétées.

Nous exploiterons d'une part les relevés de film dosimétrique donnant le niveau d'irradiation individuel, d'autre part les résultats des examens sanguins pratiqués systématiquement.

7/ Nous étudierons l'influence de l'irradiation externe par deux procédés :

le 1er considérant les valeurs moyennes (irradiation et hémogramme moyen pour chaque individu), s'efforcera de dégager les altérations hématologiques.

le 2ème, faisant appel à un calculateur électronique exploitera chaque variable hématologique, étudiera pour chaque individu les variations, comparera d'un sujet à un autre les résultats obtenus, fournira les coefficients de corrélation entre les différentes variables.

8/ Enfin nous comparerons nos résultats avec ceux qui sont classiquement admis, et nous essaierons de conclure sur la validité de l'hémogramme comme test de surveillance.

CHAPITRE I

LES RAYONS X

Ils furent découverts en 1895 par ROENTGEN. Jusqu'en 1912 leur nature resta mystérieuse. C'est pourquoi on les appela Rayons X.

1 - PRODUCTION

On les obtient dans tous les générateurs par le même phénomène : des électrons accélérés sont projetés sur une cible et au cours des interactions qu'ils subissent avec les particules matérielles de la cible, une partie de leur énergie cinétique est transformée en photons.

Les générateurs de rayons X sont essentiellement constitués de trois organes :

- un générateur d'électrons,
- un dispositif d'accélération des électrons,
- une cible.

L'émission d'électrons est obtenue par effet thermoélectronique. Certains électrons peuvent s'échapper d'un métal porté à une température élevée et s'en éloigner s'ils sont soumis à des forces électriques. Le chauffage est obtenu électriquement.

Les électrons peuvent être accélérés par deux procédés :

- soit par une force d'origine électrique, soit par une force d'origine magnétique.

1.1 - Accélération électrique des électrons

1.1.1 - Au début de leur utilisation, les rayons X étaient obtenus dans un tube à rayons cathodiques (Ampoule de CROOKES), la cible étant placée au point de convergence des rayons cathodiques émis par une cathode sphérique concave. Mais on ne pouvait modifier à volonté le nombre d'électrons émis par la cathode, ce qui ne permettait pas de régler l'intensité du faisceau de rayons X émis.

En outre, la production des rayons cathodiques exige que la pression du gaz résiduel reste très voisine de 0,01 mm de mercure. Or, cette pression diminue spontanément au cours du fonctionnement. On devait donc adjoindre à l'ampoule de CROOKES un régulateur permettant de produire un dégagement gazeux nécessaire au rétablissement de la pression.

1.1.2 - Pour ces différentes raisons, l'ampoule de CROOKES fut remplacée par l'ampoule de COOLIDGE. Celle-ci est un tube dans lequel on a établi un vide aussi poussé que possible.

Les électrons sont émis par un filament de Tungstène, porté à l'incandescence à l'aide d'une source de quelques volts.

Une source de haute tension est reliée d'une part au filament et d'autre part à la cible. Avec ce dispositif on peut modifier à volonté le nombre des électrons émis par le filament, on règle ainsi l'intensité du faisceau de rayons X. En outre, on peut régler la vitesse des électrons en modifiant la différence de potentiel entre le filament et la cible. On règle ainsi le pouvoir pénétrant.

1.2 - Accélération magnétique des électrons : on réalise ainsi un Bétatron.

Ces appareils sortent du cadre de cette étude.

2 - MECANISME DE FORMATION

Les rayons X résultent de l'interaction des électrons accélérés avec les atomes de la cible dans laquelle ils épuisent leur énergie cinétique.

Ces interactions sont de deux types :

2.1 - Collision

L'électron incident arrache un électron d'une couche de l'atome. L'atome ionisé subit un réarrangement électronique tel que l'emplacement vide tend à être reporté sur la couche la plus externe. Au cours de ce réarrangement un ou plusieurs électrons effectuent un saut sur une couche plus interne, l'excédent d'énergie après chaque saut étant rayonné sous forme d'un photon de fluorescence.

Les photons de fluorescence ont des énergies correspondant à la différence entre les énergies de liaison des couches entre lesquelles s'effectuent les sauts d'électrons.

2.2 - Freinage

Un électron incident passant au voisinage d'un noyau subit un brusque ralentissement. L'énergie cinétique qu'il perd est rayonnée sous forme de photons dont l'énergie peut avoir n'importe quelle valeur entre 0 et l'énergie de l'électron incident.

Ce phénomène de freinage et la production des rayons X qu'il provoque deviennent de plus en plus importants à mesure que l'énergie des électrons augmente et que le numéro atomique de la cible est plus élevé.

3 - NATURE - SPECTRE ENERGETIQUE

Les rayons X sont de même nature que le rayonnement γ émis par les nuclides radioactifs.

Ce sont des radiations électromagnétiques.

Ils sont produits par des phénomènes orbitaux alors que le rayonnement γ a une origine exclusivement nucléaire.

La longueur d'onde des rayons X est de l'ordre de l'Angström. Les rayons sont d'autant plus mous (d'autant moins pénétrants) que leur longueur d'onde est plus grande et d'autant plus durs (d'autant plus pénétrants) qu'elle est plus petite.

Leur énergie est donnée par :

$$E = h\gamma$$

h : constante de Planck

$$\gamma : \text{fréquence} = \frac{c}{\lambda} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda = \text{longueur d'onde} \\ c = \text{vitesse de la lumière} \end{array} \right.$$

Si on observe le résultat d'un grand nombre de collisions entre les électrons et les atomes de la cible, on constate l'émission de photons dont les énergies n'ont que quelques valeurs bien déterminées dépendant seulement de la nature des atomes de la cible. Ils sont distribués selon un spectre de raies, qui est le spectre caractéristique des atomes considérés.

Les rayons X produits par freinage sont distribués selon un spectre continu.

Les besoins de la radiothérapie nécessitent l'utilisation de rayons X dont l'énergie s'étend sur un très large domaine, de quelques Kev jusqu'à quelques dizaines de Mev.

4 - INTERACTION DU RAYONNEMENT X AVEC LA MATIERE

Pour comprendre l'action de ce rayonnement sur l'organisme vivant, et les moyens de s'en protéger il est nécessaire d'étudier le mécanisme de son action à l'échelle de l'atome.

Le rayonnement X est un rayonnement électro-magnétique. Il n'est donc pas chargé électriquement ni porteur de masse.

Son interaction avec la matière ne doit pas se traduire par une perte d'énergie progressive. Si le rayonnement interagit, il disparaît.

Ainsi après un écran de protection l'énergie du rayonnement est inchangée.

Envisageons rapidement le mécanisme intime de cette interaction.

Au cours de son passage dans la matière un rayonnement constitué par des photons peut être absorbé par effet photoélectrique, par effet de production de paires ou diffusé par effet COMPTON.

4.1 - Effet photoélectrique

Le photon disparaît totalement en cédant toute son énergie de préférence à l'électron le plus lié au noyau de la cible, qui est expulsé de l'atome avec une certaine énergie cinétique.

Cet effet est majeur avec des cibles à nombre atomique élevé. C'est pour cette raison qu'on utilise des écrans de Plomb. Mais la disparition d'un électron d'une des couches de l'atome, provoque une réorganisation du cortège électronique, et de proche en proche des remplacements ont lieu en vue de revenir à l'état initial. Chaque saut d'un électron d'une couche électronique vers une autre plus liée s'accompagne d'une libération d'énergie qui peut être cédée à un électron, ou elle peut être évacuée sous la forme d'un nouveau photon X.

4.2 - Effet de production de paires

Un photon d'énergie suffisante passant au voisinage d'un noyau peut se matérialiser sous la forme d'un électron positif et d'un électron négatif.

L'énergie du photon incident nécessaire pour créer ce phénomène doit être au moins égale à 1,02 Mev, soit 2 fois l'énergie au repos de l'électron.

Ce phénomène n'existe qu'avec les générateurs de Rayons X de grande puissance et non avec les générateurs médicaux.

4.3 - Effet COMPTON

C'est une interaction entre le photon et les électrons de la matière. Chaque effet COMPTON est analogue à un choc entre le photon considéré sous son aspect corpusculaire et un électron. L'électron est éjecté et le photon incident diffusé. Donc dans ce cas il n'y a pas disparition du photon.

La probabilité d'interaction des photons X avec la matière varie avec la nature de la matière absorbante et avec l'énergie du photon incident.

L'effet photoélectrique se produit principalement aux basses énergies, puis l'effet COMPTON, et enfin l'effet de production de paires (pour les énergies égales ou supérieures à 1,02 Mev.).

L'étude de l'action du rayonnement X nécessite la définition d'unités de mesure exprimant les doses de rayonnement reçues par l'organisme.

Ces unités doivent caractériser les rayonnements eux-mêmes et leurs interactions avec le milieu absorbant.

Elles doivent, en outre, permettre la comparaison entre les diverses radiations.

CHAPITRE II

DOSIMÉTRIE

1 - BUT DE LA DOSIMETRIE

La dosimétrie a pour objet la mesure de l'énergie cédée à la matière par les rayonnements qui la traversent.

Il est en effet nécessaire de pouvoir apprécier cette énergie soit dans un but de protection de l'opérateur ou du sujet examiné par radioscopie ou radiographie, soit pour connaître la dose de rayonnement administrée à un malade dans un but thérapeutique.

L'utilisation des radioéléments sur une grande échelle a donné une grande impulsion à la dosimétrie dans le domaine de la protection contre les rayonnements dans le domaine médical, et dans le domaine des applications industrielles.

Comme nous l'avons vu, l'interaction du rayonnement X avec la matière se traduit en définitive par une perte de l'énergie du photon incident. Cette énergie est cédée à un électron de la substance, sous forme d'énergie cinétique. Ainsi au rayonnement primaire électromagnétique est associé un rayonnement secondaire corpusculaire. Ces particules à leur tour ionisent ou excitent les atomes de la substance sur leur trajectoire.

Le rayonnement secondaire étant peu pénétrant sert donc d'intermédiaire pour céder localement l'énergie du faisceau à la matière.

2 - GRANDEURS CARACTERISANT L'INTERACTION DU MILIEU ET DU RAYONNEMENT

2.1 - Le RAD

C'est l'unité de dose absorbée

Par définition la dose absorbée d'une radiation ionisante est la quantité d'énergie communiquée à la matière par unité de masse au lieu considéré.

Elle s'appelle : RAD.

Elle correspond à une absorption de 100 ergs par gramme de milieu absorbant.

2.2 - Efficacité Biologique Relative

En fait cette unité n'est pas suffisante pour caractériser l'interaction du milieu et du rayonnement. En effet, si le RAD exprime la quantité d'énergie absorbée d'une radiation ionisante quelque il n'indique pas avec suffisamment de précision l'effet biologique.

Suivant leur nature et leur énergie, les diverses radiations (α , β , γ , X, neutrons) donnent des effets biologiques différents.

Un gramme de tissu mou absorbant 100 ergs de rayonnement alpha présentera des lésions beaucoup plus importantes qu'un même gramme de tissu ayant absorbé 100 ergs de rayonnement X ou γ .

On a donc choisi un élément de référence (en l'espèce un rayonnement X de 250 Kev.) et à partir de cet élément on a calculé les Efficacités Biologiques Relatives (EBR) des divers autres types de rayonnement.

Un rayon X a par définition une Efficacité Biologique Relative de 1.

2.3 - Le REM

Connaissant l'Efficacité Biologique Relative de chaque rayonnement on peut définir une unité qui mesure le degré de dommages biologiques produits par n'importe quel type de radiation.

Cette unité est le REM. Elle se définit de la façon suivante :

$$\text{REM} = \text{RAD} \times \text{EBR}$$

C'est-à-dire que la dose EBR exprimée en REMS est égale au produit de la dose absorbée, exprimée en RADS, par le facteur d'Efficacité Biologique Relative (une terminologie plus récente emploie le terme Facteur de Qualité au lieu de EBR).

Le mot REM a pour origine l'expression "ROENTGEN EQUIVALENT MAN". En effet pour les tissus mous et pour les rayonnements X une dose EBR de 1 Rem correspond à une dose absorbée dans l'organisme de 1 Rad, et approximativement à une dose d'exposition dans l'air de 1 ROENTGEN.

3 - GRANDEURS CARACTERISANT LE FAISCEAU INCIDENT

Pour nos besoins nous ne citerons que le ROENTGEN et laisserons sous silence les termes : Fluence, Densité de Flux, Fluence Energétique, Densité de Flux Energétique.

3.1 - Le ROENTGEN

Le Roentgen est une dose d'exposition.

C'est la quantité de radiation X telle que l'émission corpusculaire associée produise pour 0,001293 gramme d'air, des ions portant une unité électrostatique de quantité d'électricité de chaque signe.

L'énergie nécessaire pour former une paire d'ions dans l'air étant de 34 ev, il en résulte que 1 ROENTGEN correspond à une dose absorbée de 88 ergs par gramme d'air.

Dans le cas où l'on remplace l'air par un tissu mou, l'énergie dissipée dans 1 gramme de ce tissu correspond à 0,97 Rad pour un rayonnement X.

3.2 - Débit d'exposition

Le débit d'exposition est la dose d'exposition rapportée à l'unité de temps.

Exemple : ROENTGEN par heure.

4 - UNITES UTILISEES AU COURS DE CETTE ETUDE

Dans cet exposé nous ne considérerons pas les doses d'exposition couramment exprimées en ROENTGEN ou en sous-multiples mais les doses EBR exprimées en Rem et en sous-multiple, puisque pour les tissus mous de l'organisme et les rayonnements X une dose EBR de 1 Rem correspond à une dose absorbée dans l'organisme de 1 Rad et approximativement à une dose d'exposition dans l'air de 1 ROENTGEN.

Ainsi nous considérerons que le dosimètre porté par le sujet a enregistré non seulement la dose d'exposition, mais également la dose absorbée par l'individu, donc la dose EBR.

CHAPITRE III

EFFETS BIOLOGIQUES DES RADIATIONS

De quelle manière va réagir un organisme vivant à l'action d'un rayonnement ?

La réponse va être très polymorphe.

1 - ACTION TOXIQUE

1.1 - Au niveau de la cellule, la radiation peut provoquer :

- un DYSFONCTIONNEMENT, pouvant porter sur les trois fonctions principales des cellules = modifications du métabolisme, troubles des fonctions spécifiques (telle que sécrétion), anomalies de la reproduction (en particulier arrêt des divisions cellulaires).

- la SCLEROSE, caractérisée par un vieillissement et une perte de souplesse fonctionnelle et morphologique.

- des METAPLASIES, c'est-à-dire des modifications de la différenciation morphologique et fonctionnelle des cellules.

La plus grave étant la transformation néoplasique, caractérisée par une anarchie des phénomènes de reproduction et par l'expansion maligne des cellules néoformées.

- des MUTATIONS portant sur le patrimoine nucléaire des cellules et qui sont dues à une transformation des gènes porteurs des caractères héréditaires.

- la MORT de la cellule peut survenir si l'intensité ou la répétition de l'agression est suffisante.

1.2 - A l'échelle du tissu

Il faut constater la notion de radiosensibilité différentielle.

En effet, les organes et les tissus constituant l'organisme présentent des variations très grandes de sensibilité à une même agression par les radiations.

On peut dire qu'un tissu est d'autant plus sensible que son activité reproductrice est plus grande, que l'avenir caryocinétique de ses cellules est plus grand, que leur différenciation est moindre.

C'est-à-dire que les tissus les plus sensibles sont les plus jeunes (donc l'embryon), les plus reproducteurs (cellules germinales sexuelles), les moins spécialisés (cellules souches sanguines).

- C'est ainsi que l'irradiation aigue de la peau entraîne progressivement rougeur, épilation, desquamation, tarissement des sécrétions, dermite, nécrose.

Son irradiation chronique répétée peut provoquer une cancérisation (épithélioma).

L'irradiation du tube digestif provoque : inflammation et desquamation de la muqueuse, diminution des sécrétions, ulcération et nécrose.

L'oeil a une réaction précoce, c'est la cataracte.

- Les organes où se forment les cellules sanguines sont très radiosensibles, alors que le

sang circulant ne l'est pas. L'irradiation de la moelle osseuse et des ganglions lymphatiques peut provoquer deux types de troubles : APLASIE et METAPLASIE.

(L'APLASIE étant la diminution ou même l'arrêt de formation des cellules sanguines se traduit à l'examen hématologique par des modifications de la numération et de la formule sanguine, la METAPLASIE engendre les leucémies).

- Les glandes génitales sont très radiosensibles ; leur irradiation peut entraîner trois sortes de troubles. D'abord la stérilité par arrêt de murissement des cellules germinales. Ensuite des troubles hormonaux se surajoutent chez la femme. Mais surtout la gravité tient au fait que des mutations géniques peuvent atteindre les chromosomes et se transmettre à la descendance.

Les autres tissus de l'organisme sont beaucoup moins radiosensibles, notamment les os, les muscles, les nerfs.

1.3 - Organisme entier

Les réactions globales de l'organisme sont essentiellement le reflet compliqué des réactions tissulaires : cutanées, digestives, et sanguines.

- *Les phénomènes aigus* qui surviennent après une irradiation globale peuvent aller du simple malaise à la mort selon l'intensité de l'irradiation, c'est ce qu'on appelle le mal des rayons.

Dans les cas bénins, il s'agit de malaises dus à une intoxication générale, et se manifestant essentiellement par un syndrome neurovégétatif : asthénie, nausées, vomissements ou diarrhées, migraines.

C'est un état de choc qui cède rapidement.

Dans les cas graves, les troubles débutent par le syndrome précédent, puis cessent en 24 à 48 heures.

Une phase de latence de plusieurs jours succédant au choc initial permet aux tissus sanguinoformateurs et épithéliums digestifs de murir leurs lésions cellulaires.

Puis brusquement le grand mal éclate : prostration, vomissements et diarrhées, hémorragies multiples, chute brutale des globules blancs, incapacité de résister à la moindre agression.

Finalement si l'irradiation a été suffisante, la mort survient dix à vingt jours après l'atteinte.

- *Les phénomènes chroniques* peuvent se voir après des atteintes générales ayant lésé les organes les plus sensibles.

Les atteintes segmentaires sont dues à l'irradiation répétée d'une même région (doigts par exemple) pouvant entraîner une cancérisation (cancers cutanés des doigts).

Les atteintes générales portant sur les organes sanguinoformateurs entraînent des cancers généralisés (leucémies).

Ces atteintes nécessitent des agressions faibles mais répétées.

- Les mutations héréditaires offrent un caractère de gravité du fait que l'individu n'est plus seul à pâtir de l'accident ou de l'imprudence. Sa descendance peut être atteinte.

2 - MECANISME DE L'ACTION DES RADIATIONS

L'effet principal de l'interaction des radiations avec la matière est le phénomène d'ionisation. Quand une particule traverse une molécule, il y a production de paires d'ions. Il y a échange d'énergie, car le rayonnement abandonne une partie de son énergie pour l'ionisation. Ce phénomène d'ionisation n'est pas le phénomène unique, il se produit également des phénomènes d'excitation.

L'énergie transformée en excitation est très petite, et les effets biologiques des radiations s'expliquent par le phénomène primordial : l'ionisation.

L'ionisation agirait en provoquant la rupture des liaisons chimiques à l'intérieur de la molécule organique.

Deux théories tentent d'expliquer l'action des radiations ionisantes :

2.1 - L'une, *théorie de l'eau activée*, ou de l'eau toxique suppose que la radiation agit de manière indirecte. L'action s'exercerait d'abord sur l'eau qui constitue l'élément essentiel de tout l'organisme biologique. Il se formerait aux dépens de l'eau, des poisons qui réagiraient ensuite sur les substances dissoutes.

2.2 - L'autre, *théorie de la cible*, soutient que l'ionisation agit de façon directe sur la cellule en provoquant la rupture des liaisons moléculaires. Cette dernière hypothèse permet d'expliquer les mutations génétiques.

Ces deux théories, en fait, sont complémentaires.

3 - FACTEURS INTERVENANT DANS LES EFFETS BIOLOGIQUES

3.1 - Facteurs liés au rayonnement lui-même

3.1.1 - *Nature du rayonnement*

L'effet biologique est directement lié au phénomène d'ionisation, c'est-à-dire à la quantité d'énergie absorbée par l'organisme. Cette énergie absorbée est prélevée aux dépens de l'énergie du rayonnement qui le pénètre.

Un rayonnement sera donc d'autant plus dangereux qu'il aura un pouvoir de pénétration très grand et un potentiel d'ionisation très élevé. C'est cette notion qui a permis d'affecter à chaque type de rayonnement un coefficient d'efficacité biologique qui détermine l'effet produit par les divers rayonnements en fonction d'une même quantité d'énergie absorbée.

3.1.2 - *Facteur dose*

Les effets biologiques dépendent de la dose, c'est-à-dire de la quantité d'énergie absorbée.

- Effets somatiques

Pour ce type d'action, il y a une relation directe de causalité entre les effets et la dose.

Par exemple pour une certaine dose, un sujet présentera un érythème. Pour une dose un peu plus élevée 50 % des sujets présenteront un érythème.

Pour une dose encore un peu plus élevée 100 % des sujets présenteront à coup sûr un érythème.

Donc on peut définir une valeur moyenne qui est la dose érythème, et autour de cette valeur moyenne il y a des fluctuations dues à la sensibilité ou à la résistance de certaines peaux.

- Effets génétiques

Dans ce cas, le phénomène est aléatoire.

A une dose correspond une certaine probabilité de mutation génétique mais le dommage est d'autant plus probable que la dose est plus élevée.

3.1.3 - *Facteur temps*

Les effets biologiques dépendent de la façon dont la dose est administrée en fonction du temps, c'est-à-dire, du débit de dose.

Une irradiation discontinue est moins grave qu'une irradiation unique car il faut tenir compte de la régénération tissulaire.

Une irradiation unique de 600 Rads appliquée à un homme dans un temps très bref est certainement mortelle, alors que la même dose appliquée en doses fractionnées, étalées sur une période de 30 ans, ne provoque aucun effet apparent.

3.2 - Facteurs liés à l'organisme irradié

3.1.1 - *Sensibilité selon les espèces*

Les espèces sont différemment sensibles aux radiations ionisantes et à l'intérieur de chaque espèce, il y a de grandes variations avec les individus selon l'âge, la race, le mode d'alimentation.

3.2.2 - *Sensibilité différente selon les tissus*

On a pu classer les divers tissus par ordre de sensibilité décroissante :

- Tissu lymphoïde, en particulier les lymphocytes
- Globules jeunes de la moelle osseuse
- Cellules de l'épithélium gastro intestinal
- Cellules des gonades (les testicules sont plus sensibles que les ovaires)
- La peau
- Cellules de l'endothélium (vaisseaux sanguins et péritoine)
- Cellules de l'épithélium du foie et des surrénales.
- Les autres tissus : os, muscles, nerfs.

3.2.3 - *Facteur surface exposée*

Une dose mortelle, quand elle est administrée sur l'ensemble du corps, ne provoque que des effets bénins, si elle est administrée sur une surface réduite de l'organisme, un doigt par exemple.

Ainsi après l'exposé de ces effets biologiques, on comprend donc la nécessité des normes de sécurité et l'obligation absolue de les respecter.

CHAPITRE IV

NORMES PROFESSIONNELLES

1 - PRINCIPE D'ETABLISSEMENT

On a considéré que l'irradiation d'un être humain était tolérable et n'entraînerait aucun dommage pour lui-même ou sa descendance, si la dose qu'il recevait était inférieure à une certaine valeur qu'il fallait définir.

Pour ceci on considéra les effets somatiques et les mutations génétiques entraînés par une irradiation.

Dans le premier cas comme nous l'avons vu, il y a une relation de causalité entre effet et dose, et on peut définir la dose érythème qui correspond à 25 rem administrés instantanément.

Dans le cas des mutations génétiques, le phénomène est aléatoire, et on peut admettre que même pour une dose si faible soit elle, il y a probabilité de dommages.

Mais au-dessous d'une certaine dose la probabilité de dommages est inférieure à une certaine valeur.

Il a été choisi des critères d'acceptabilité pour les doses.

Elles ont été obtenues en fonction de 2 données :

- celles de l'irradiation naturelle, variable suivant les régions du monde.
- des risques encourus par l'humanité à la suite d'irradiation d'une certaine fraction des individus qui la composent.

2 - NORMES INDIVIDUELLES

A partir de ces considérations, on a établi les normes individuelles qui mettent l'individu à l'abri des effets somatiques.

Pour les sujets directement affectés à des travaux sous radiations, donc les radiologues, les normes professionnelles sont les suivantes (12) :

	rem. en 1 semaine	rem. en 1 mois	rem. en 3 mois	rem. en 12 mois
Organisme entier Cristallins, gonades Organes hématopoiétiques	0, 1	0, 42	1, 250	<u>5</u>
Mains, avant-bras, Pieds, chevilles	1, 2	5	<u>15</u>	<u>60</u>
Peau - Os	0, 6	2, 7	<u>8</u>	<u>30</u>
Autres organes, (thyroïde comprise)	0, 3	1, 35	<u>4</u>	<u>15</u>

- Les doses maxima admissibles sont soulignées.
- (0) à l'exception de l'irradiation externe de l'organisme entier qui peut atteindre 3 rems. en 3 mois consécutifs.

- Toutes ces valeurs doivent être divisées par un facteur 10 pour obtenir les normes applicables au public.

Ainsi les normes professionnelles pour un radiologue où un sujet directement affecté à des travaux sous radiations sont 3 rems en 1 trimestre et 5 rems par an.

Il est entendu que les doses moyennes maxima admissibles peuvent momentanément être dépassées à condition que les doses maxima admissibles soient respectées.

CHAPITRE V

SURVEILLANCE DU PERSONNEL PROFESSIONNELLEMENT EXPOSÉ AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Ces normes doivent être respectées.

Pour s'assurer de leur bonne observation, on dispose de méthodes physiques et biologiques.

1 - METHODES PHYSIQUES

Compte tenu des erreurs techniques toujours possibles, les méthodes physiques sont à placer au premier rang ; elles seules permettent de dire si la norme a été dépassée (5).

1.1 - Mesures collectives

Elles consistent avant tout en la vérification des lieux du travail et de la mesure de la dose absorbée à proximité des sources radioactives ou des appareils générateurs de rayons X, par des instruments appropriés.

Le détecteur le mieux adapté à la détermination des doses et des intensités absorbées dans l'organisme est celui dont la réponse est liée directement à l'énergie absorbée par les tissus de l'organisme.

- Chambre d'ionisation

La mesure d'un courant d'ionisation dans un milieu gazeux, présentant une ionisation demeurant dans un rapport constant avec l'ionisation produite dans les tissus de l'organisme, quelle que soit la nature ou l'énergie du rayonnement est une méthode de détection bien adaptée.

La détection par chambre d'ionisation est la méthode de choix.

Le gaz et la paroi de la chambre ont une grande importance pour obtenir des mesures dont l'interprétation en vue de la détermination du risque biologique soit immédiate.

La paroi de la chambre et les tissus de l'organisme doivent présenter les mêmes interactions du rayonnement avec la matière.

La zone de la peau particulièrement sensible aux rayonnements est la couche basale de l'épiderme située à une profondeur moyenne de 7 mg/cm². Pour une épaisseur aussi faible tous les matériaux légers contenant des éléments dont le numéro atomique est inférieur à 10 conviennent : (Aluminium - Mylar).

L'irradiation de la peau est à mesurer particulièrement dans le cas de la présence de rayonnement mou ou de sources de rayonnements où les diffusions possibles sont nombreuses.

On effectue également des mesures de l'irradiation en profondeur de l'organisme lorsqu'on veut connaître l'irradiation subie par un organe particulier ou pour connaître l'irradiation intégrée exprimée en gramme-rads pour l'ensemble de l'organisme.

Un organe qui doit être particulièrement surveillé est l'Oeil en raison du risque de cataracte par irradiation du cristallin situé à une profondeur moyenne de 0,3 g/cm².

Pour la mesure de l'irradiation du cristallin il est nécessaire de disposer d'une chambre d'ionisation ayant une épaisseur de paroi de 0,3 g/cm².

Pour des mesures à des profondeurs plus grandes des parois également plus épaisses sont utilisées.

L'épaisseur de paroi à traverser étant importante l'atténuation subie par le rayonnement devient notable, la paroi de la chambre est alors constituée en un matériau "équivalent aux tissus" pour les interactions des photons.

Pour des photons d'énergie supérieure à 80 Kev on utilise des matières plastiques courantes.

Pour des mesures à des profondeurs importantes, la méthode la plus précise consiste à placer le détecteur à paroi en matériau équivalent aux tissus dans un fantôme, également en un matériau équivalent aux tissus.

Le gaz utilisé dans les chambres d'ionisation doit présenter les mêmes caractéristiques d'équivalence aux tissus que les parois. L'air convient parfaitement pour la mesure des photons.

1.2 - Mesures Individuelles

Chaque sujet exposé à des radiations ionisantes doit porter un instrument individuel détecteur.

1.2.1 - *Emulsions photographiques*

La dosimétrie du rayonnement X peut s'effectuer par la mesure du noircissement produit par ce rayonnement dans les émulsions photographiques.

Ce noircissement croît avec l'énergie totale absorbée par l'émulsion.

L'émulsion Kodak pour radiographie dentaire permet la mesure d'irradiations comprises entre 50 m rads et 100 rads.

Cette émulsion est souvent remplacée par l'émulsion Kodak C.B. type D.M.A. - C.E.A. spéciale pour dosimétrie. Elle permet la mesure d'irradiation entre 10 m rads et 800 rads.

Cette émulsion comporte 3 plages de sensibilités différentes : 20 à 800 m rads - 0,6 à 30 rads et 20 à 800 rads.

Les émulsions photographiques permettent des mesures à 20 % près pour la détection des photons d'énergie supérieure à 0,5 Mev.

Elles présentent l'inconvénient d'être sensibles à la chaleur et à certains agents chimiques (Mercure - Ammoniac - Certaines Vapeurs Organiques) qui noircissent également l'émulsion.

Au-dessus de 0,5 Mev et jusqu'à plusieurs Mev le noircissement du film varie peu avec l'énergie du photon. Le film est dans ce domaine un moyen commode de dosimétrie puisque son noircissement ne dépend que de la dose absorbée dans les tissus mous et demeure indépendant de l'énergie des photons. Par contre au-dessous de 0,5 Mev, le film présente une hypersensibilité variable suivant le type d'émulsion et qui atteint son maximum vers 45 Kev.

Cette hypersensibilité, pour les photons d'énergie inférieure à 0,5 Mev, résulte de la prépondérance de l'absorption de ce rayonnement par effet photoélectrique au-dessous de cette limite alors que l'effet COMPTON est prépondérant au-dessus.

Pour tenter d'améliorer la réponse très mauvaise des émulsions photographiques pour les photons d'énergie inférieure à 0,5 Mev et pour permettre une interprétation des résultats photographiques divers écrans sont utilisés pour atténuer le rayonnement incident.

Dans le cas particulier des rayons X, on dispose donc devant le film un écran absorbant supplémentaire ramenant la sensibilité du film à sa valeur normale (cette méthode suppose que le générateur X fonctionne dans des conditions constantes).

On peut utiliser aussi des écrans d'épaisseurs et de natures diverses permettant de déterminer approximativement l'énergie du rayonnement et la dose absorbée par le film.

Chaque film est porté normalement pendant 1 mois. Il est ensuite développé et son noircissement mesuré.

Les films développés constituent ainsi des archives relatives aux irradiations subies par le personnel soumis aux rayonnements.

Dans le cas particulier où des doses importantes auraient pu être subies par suite d'un accident d'irradiation, le film doit être immédiatement développé pour entreprendre éventuellement un contrôle médical.

1.2.2 - Stylos dosimètres

Stylos électromètres

Le principe de la détection des radiations par le stylo électromètre réside dans la décharge par l'action de rayonnements ionisants d'un électroscope initialement chargé.

L'électroscope comporte une partie fixe constituée par un fil de cuivre (diamètre 0,6 mm) et une partie mobile constituée par un fil de quartz métallisé (diamètre 4 μ environ) soudé sur le fil de cuivre. La position de ce fil de quartz est repérée par un microscope logé dans le corps du stylo

Le micromètre oculaire est gradué directement en rads. L'électroscope est chargé à l'aide d'une source extérieure de tension d'environ 200 V.

Les stylos électromètres permettent une lecture immédiate des irradiations subies. Ils sont ainsi un guide utile à l'expérimentateur qui peut contrôler l'irradiation subie au cours de son travail.

Ils sont susceptibles de permettre des mesures dans un domaine de sensibilité très étendu.

Il existe des stylos pour lesquels la dose totale mesurable est de :

0,2 - 0,5 - 1 - 5 - 10 - 50 - 100 - 500 et 1000 rads.

Le premier de ces stylos peut être utilisé pour un travail journalier à faible niveau de radiation.

La précision des mesures faites avec les stylos électromètres est relativement bonne (5 pour cent pour une déviation de la moitié de l'échelle de lecture).

Le mouvement propre du stylo est faible - environ 5 m rads par semaine pour un stylo de 0,2 rad.

Les causes de ce mouvement propre sont :

- le rayonnement cosmique (= 1,5 m rad/semaine)
- la fuite électrique du support isolant de l'électroscope (= 3 m rads/semaine).

- Stylos condensateurs et chambres d'ionisation individuelles

Comme l'électroscope, le condensateur initialement chargé se décharge sous l'action des rayonnements ionisants.

La détermination de l'irradiation s'effectue indirectement en mesurant la charge résiduelle du condensateur à l'aide d'un "chargeur-lecteur" gradué également en Rads.

Ces stylos fournissent donc des lectures moins immédiates que les stylos électromètres à lecture directe car chaque lecture exige la recharge du stylo condensateur.

Ils nécessitent un appareil de lecture utilisant un électroscope à fil de quartz du même type que celui du stylo électromètre.

Ces appareils possèdent une très bonne précision environ 1 % et leur paroi en matériau léger (plexiglas - bakélite...) permet de les employer pour les rayonnements X de préférence aux stylos électromètres.

Sur le même principe de fonctionnement de petites chambres d'ionisation individuelles sont quelquefois utilisées.

Si la paroi de la chambre d'ionisation des stylos électromètres, des stylos condensateurs ou des chambres individuelles est en matériau équivalent aux tissus, le détecteur permet la mesure à 3 % près, de 10 Kev à 10 Mev, de la dose absorbée dans les tissus à une profondeur égale à l'épaisseur de paroi utilisée (7 mg/cm² pour la peau ; 0,3 g/cm² pour les cristallins).

1.2.3 - Verres au métaphosphate d'argent

Le dosimètre de ce type se présente sous la forme d'un batonnet cylindrique de diamètre 1 mm et de longueur 6,5 mm.

Après irradiation X le dosimètre de verre exposé à un rayonnement ultraviolet de 3200 Å émet un rayonnement de fluorescence orange de 6400 Å.

L'intensité du rayonnement de fluorescence, proportionnelle à la dose absorbée dans le verre, est mesurée par un photomultiplicateur.

Le domaine de mesure de ce dosimètre s'étend de 5 à 1000 rads.

2 - METHODES BIOLOGIQUES

Il est intéressant d'évaluer les effets des radiations ionisantes sur l'organisme. On apprécie ainsi directement l'atteinte individuelle.

A quel procédé peut-on faire appel ?

Comme nous l'avons vu les organes hématopoiétiques sont parmi les plus sensibles, il est donc logique que l'on s'efforce d'estimer les dommages causés par les radiations en observant les variations qui sont produites.

En effet les organes hématopoiétiques sont en perpétuelle reproduction, et de plus ce sont des cellules indifférenciées.

2.1 - Radiosensibilité comparée des cellules sanguines

Les cellules souches libres sont très radiosensibles.

Les cellules lymphoïdes sont plus sensibles que les cellules érythromyéloïdes.

Les cellules myéloïdes seraient moins sensibles que les cellules érythroblastiques.

Les cellules réticulaires sont extrêmement radiorésistantes.

Les cellules sanguines matures offrent peu de prise à l'action des radiations.

Seules des doses considérables et incompatibles avec la vie sont capables d'altérer les granulocytes et surtout les érythrocytes.

Par contre les lymphocytes sont sensibles in vitro à des doses de l'ordre de 50 ROENTGENS.

2.2 - Action des radiations sur le sang circulant

Cette action est très peu marquée.

On note une lymphopénie qui relève sans doute en partie d'une action leucolytique directe.

L'anémie lorsqu'elle est rapide et intense relève pour une part de la fuite des hématies dans la lymphe et les espaces interstitiels à la faveur d'une altération des parois capillaires.

2.3 - Action des radiations sur les centres hémoformateurs

2.3.1 - *Action aplasante*

Les modifications hématologiques induites par les radiations sont secondaires aux lésions aplasantes des centres hémoformateurs.

Les différences observées dans les modalités d'installation de la leucopénie, de la thrombopénie de l'anémie ainsi que dans le retour des différents éléments à la normale tiennent à deux facteurs :

- la durée de vie des cellules considérées (quelques jours pour les leucocytes, et les plaquettes ; 3 ou 4 mois pour les érythrocytes).

- les capacités de régénération des cellules souches.

L'action des radiations s'exerce essentiellement sur le noyau des cellules hémofomatrices. Plusieurs lésions cytologiques peuvent être distinguées parmi lesquelles la suppression et les anomalies de la reproduction cellulaire ont une importance essentielle.

C'est en effet durant la mitose et particulièrement à la fin de la prophase que les cellules apparaissent les plus sensibles à l'action des radiations.

L'atteinte cellulaire procède de lésions de structures et particulièrement des chromosomes, et des gènes.

Cette aplasie est essentiellement transitoire après irradiation aigue.

La régénération est plus précoce lorsqu'une portion de territoire riche en tissu réticulaire (rate, moelle osseuse) a été protégée de l'irradiation ou lorsqu'une suspension de cellules médullaires est injectée après l'irradiation.

2.3.2 - *Action hyperplasiant*

La réalité d'une action cellulaire hyperplasiant des radiations sur les centres erythroformateurs est très discutée.

Néanmoins on observe des hyperplasies leucocytaires chez l'homme après irradiation chronique.

2.4 - Manifestations Hématologiques survenant après de longues expositions aux radiations ionisantes

Elles sont de type hypoplasie et aplasie myélosanguine.

Elles surviennent chez des sujets exposés de longue date aux rayons.

Elles sont précédées d'abord pendant des mois et des années de leucopénie et de thrombopénie mais elles peuvent apparaître également de façon brutale.

A l'examen du myélogramme on constate une aplasie totale ou bien quelques îlots hémopoïétiques. On peut trouver des hémoblastes en petit nombre.

Dans le sang périphérique on relève : anémie - leucopénie - neutropénie et thrombopénie.

2.5 - Surveillance de l'irradiation par l'hémogramme

Ainsi donc la surveillance biologique d'un sujet exposé à des radiations ionisantes peut être pratiquée en observant les désordres hématologiques entraînés par l'irradiation.

L'idéal serait de pratiquer des examens systématiques de chaque territoire sanguinoformateur (moelle - rate - ganglions).

Mais on le comprend ceci est impossible sur le plan pratique.

On est donc obligé d'utiliser le sang périphérique qui reflète ce qui se passe au niveau des organes hémopoïétiques.

En fait il faut rappeler que les éléments matures du sang circulant sont insensibles à de petites doses répétées de radiations ionisantes.

Seules les cellules souches indifférenciées sont susceptibles d'être altérées.

La surveillance d'un sujet exposé aux radiations ionisantes par la Numération et la Formule pratiquées sur le sang périphérique n'est qu'une méthode indirecte qui s'efforce de mettre en évidence le retentissement sur le sang périphérique d'une atteinte des organes hémopoïétiques.

2.6 - Désordres sanguins décrits classiquement chez les sujets professionnellement exposés

L'atteinte la plus précoce est celle de la série blanche. Les séries érythrocytaires et plaquettaires peuvent également présenter des modifications dans les cas les plus marqués.

2.6.1 - *Série blanche*

- La leucopénie est le désordre le plus couramment observé. Elle est généralement due à une neutropénie, parfois à une lymphopénie quelquefois à une lymphoneutropénie.

- La leucocytose s'observe également.

Elle est modérée, d'abord intermittente puis devenant durable.

Il s'agit habituellement d'une lymphocytose avec neutropénie.

L'éosinophilie est inconstante.

Parfois il s'agit d'une polynucléose neutrophile.

- On signale en outre des altérations cytoplasmiques et nucléaires des leucocytes (anisocytose, granulations toxiques, pycnose nucléaire).

Les plus remarquables et les plus précoces concernent les lymphocytes (chromatine en mottes, lymphocytes bilobés, anomalies de coloration).

2.6.2 - Série rouge

Une anémie modérée est classiquement décrite, se situant à 3,5 millions, habituellement normocytaire et normochrome.

Les réticulocytes sont parfois augmentés.

Une polyglobulie initiale est rare mais quelquefois observée.

CHAPITRE VI

APPLICATION : SURVEILLANCE D'INFIRMIERS RADIOLOGUES ET MANIPULATEURS DE GÉNÉRATEURS DE RAYONS X

1 - BUTS DE L'ETUDE

L'étude entreprise se propose les buts suivants :

- Vérifier si de petites irradiations chroniques sont capables de produire des altérations de la Numération et de la Formule Sanguine. (Ceci est important à connaître puisque la surveillance biologique de toute personne exposée professionnellement aux radiations ionisantes est basée sur l'étude de la Numération - Formule Sanguine).

- Etudier ces modifications en fonction des doses absorbées par chaque sujet (ces doses étant connues par le port du film photographique individuel).

- En dégager les altérations qui paraîtraient significatives et sur lesquelles on pourrait fonder les bases expérimentales d'une surveillance biologique.

- Comparer ces modifications à celles qui sont décrites classiquement ou qui sont observées dans des conditions assez voisines.

2 - GROUPE D'INDIVIDUS ETUDIES

L'étude a porté sur l'exposition d'infirmiers radiologues et manipulateurs de générateurs de rayons X des Hospices Civils de Lyon.

Ces infirmiers portent un film dosimètre individuel qui permet de connaître en principe la dose absorbée pour chaque individu.

2.1 - Conditions d'exposition

On a constaté que chaque sujet travaille régulièrement de la même manière :

- soit il est prudent et utilise écrans protecteurs, tablier et gants de plomb.

- soit il est totalement indifférent aux règles de sécurité et ne prend aucune précaution.

Ceci transparaît sur les résultats des films.

Les doses absorbées varient très peu autour d'une valeur moyenne individuelle.

En outre les postes de travail sont plus ou moins exposés suivant les radiographies effectuées (38)(11).

Les plus exposés sont les examens dits spéciaux : Cathétérisme, Artériographie, Hystérographie, Pelvimétrie, Lipiodols rachidien et intra Ventriculaire, Urographie, où les techniques demandent un temps d'exposition beaucoup plus long, où la manipulation à distance n'est concevable qu'avec un matériel moderne et perfectionné.

Puis viennent les postes de radio en salle d'opération où les incidences complexes entraînent une contention de l'opéré et où l'aseptie ne permet pas l'utilisation des postes protégés. De nombreux chirurgiens conscients de ce danger écartent d'ailleurs au maximum le personnel qui n'est pas indispensable à chaque prise de cliché.

La Scopie extemporanée est dans la mesure du possible, de moins en moins utilisée.

La pratique des radios en salle, au lit du malade entraîne d'importantes irradiations, les postes portatifs étant très imparfaitement protégés.

Les Hopitaux d'enfants fournissent également des irradiations importantes.

Pour les autres postes la perfection des techniques de protection entraîne des risques pratiquement nuls en dehors d'accidents extrêmement rares.

2.2 - Nature de l'exposition

L'irradiation subie par les radiologues est une irradiation indirecte. Les rayonnements sont diffusés par le corps du malade et par les parois de la salle d'examens. L'ensemble du rayonnement n'est pas homogène. Son pouvoir de pénétration est inégal, et souvent faible.

La qualité de l'exposition est donc très variable.

3 - SURVEILLANCE HEMATOLOGIQUE

3.1 - Méthodes Utilisées

Elle fut effectuée par examen de la Numération globulaire, de la Formule leucocytaire, du dosage de l'Hémoglobine et de la détermination de la Valeur Globulaire.

Ces analyses furent faites sur sang capillaire au bout du doigt.

Les Hématies et Leucocytes furent comptés au microscope en cellule de THOMAS.

L'hémoglobine, dosée par la méthode de la cyanméthémoglobine fut exprimée en pourcentage de la normale en considérant qu'un homme standard a un taux d'hémoglobine de 15,4 g/100 ml. de sang, soit 100 % de la normale, et une femme standard un taux de 13,3 g/100 ml. de sang, soit 100 % de la normale.

La valeur globulaire exprime le rapport suivant :

$$\frac{\text{Globules Rouges normaux selon l'âge et le sexe} \times \text{Hémoglobine trouvée}}{\text{Globules Rouges trouvés} \times \text{Hémoglobine normale}}$$

La formule leucocytaire fut pratiquée après étalement d'une goutte de sang capillaire sur une lame de verre, puis coloration par la méthode de MAY-GRUNDWALD GIEMSA et observation au microscope à immersion.

Deux cents éléments leucocytaires furent comptés systématiquement, et lorsqu'apparaissait une différence trop importante d'une lecture à l'autre, une nouvelle formule était établie sur cent nouveaux éléments.

3.2 - Valeurs Normales

Dans cette étude nous considérons comme normales, compte tenu des techniques utilisées au laboratoire, les valeurs suivantes :

- HEMATIES : (Hommes 5 000 000/mm³)
(Femmes 4 400 000/mm³)
- LEUCOCYTES : 5 800 à 8 500/mm³
- HEMOGLOBINE : 100 % (Hommes et Femmes)
- VALEUR GLOBULAIRE : 1
- FORMULE LEUCOCYTAIRE
 - POLYNUCLEAIRES (Neutrophiles : 59 à 70 %
 - (
 - (Eosinophiles : 2 à 4 %
 - (
 - (Basophiles : 0,5 %

LYMPHOCYTES	: 8 à 15 %
MOYENS MONONUCLEAIRES	: 8 à 15 %
MONOCYTES	: 3 à 9 %

3.3 - Normes Professionnelles

Conformément à la circulaire du 3 juin 1957, (35), relative aux recommandations générales visant à la protection contre les radiations ionisantes, les normes suivantes ont été établies pour classer les travailleurs en 3 catégories.

	INAPTES	EN OBSERVATION	APTES
- Globules rouges par mm ³ (M = million)	Inférieur à 3,5 M Supérieur à 6 M	de 3,5 M à 4 M de 5,5 M à 6 M	de 4 M à 5 M
- Globules blancs par mm ³	Inférieur à 3 500 Supérieur à 12 000	de 3 500 à 4 500 de 10 000 à 12 000	de 4 500 à 10 000
- Polynucléaires en %	Inférieur à 40 Supérieur à 75	de 40 à 50 de 70 à 75	de 50 à 70

REMARQUES

On doit noter que la Numération Globulaire et la Formule Leucocytaire tout en étant des examens faciles nécessitent des techniciens entraînés car de légères variations sont possibles.

De plus la numération doit être une opération statistique, c'est-à-dire qu'un seul examen n'a pas de valeur et ne prouve rien à moins de déceler des anomalies flagrantes.

En cas de modification franche ou discrète, il est indispensable de contrôler à 10 ou 15 jours d'intervalle.

3.4 - Résultats

L'étude a porté sur 64 Infirmiers-Radiologues qui ont subi un examen tous les 6 mois.

L'enquête présente 5 à 10 ans de surveillance hématologique, suivant l'ancienneté de l'individu à son poste de travail.

Chaque sujet a donc subi environ 10 examens hématologiques pour ceux présents depuis 5 ans et 20 pour ceux en poste depuis 10 ans.

L'ensemble représente plus de 650 examens hématologiques.

- Chaque mois le film dosimétrique était développé.

- Des tableaux furent établis pour chaque individu ; on y porta en fonction du temps les résultats de chaque examen et ceux des relevés de films dosimétriques.

On avait donc les doses mensuelles.

On calcula alors pour chaque sujet les doses cumulées.

CHAPITRE VII

ÉTUDE DES RÉSULTATS

Deux procédés furent utilisés.

Le premier traita de façon empirique les résultats. Il consista à établir un résultat hémato-
logique moyen pour chaque individu à partir de tous les examens effectués, et à calculer la dose EBR
moyenne mensuelle.

Le deuxième, après traduction des résultats dans un code convenable, présenta les données à
un calculateur électronique.

1 - PREMIER PROCEDE

Pour chaque individu il fut établi : Numération - Formule - Hémoglobine - Valeur Globulaire -
moyennes à partir de tous les examens pratiqués tous les 6 mois.

De la même manière on calcula la dose mensuelle moyenne à partir de tous les relevés
dosimétriques mensuels. On en déduisit ainsi la dose EBR mensuelle pour chaque individu.

L'erreur n'est pas trop grande car chaque opérateur travaille toujours de la même manière,
et d'un mois à l'autre il subit sensiblement toujours la même irradiation.

1.1 - Classification selon la dose EBR mensuelle moyenne

Une fois établies valeurs hématologiques et doses mensuelles moyennes, on classa chaque indi-
vidu suivant les doses mensuelles subies.

Une première classification fut ainsi obtenue. Les 64 sujets furent répartis en 9 Groupes.

DOSE MENSUELLE Moyenne en mrem	NOMBRE DE SUJETS
Inférieur à 100	15
100 à 200	8
200 à 300	8
300 à 400	6
400 à 500	7
500 à 600	10
600 à 700	2
700 à 800	2
Supérieur à 1000	6

- 1er GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE INFÉRIEURE A 100 MREM -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens Mononu- cléaires	Mono- cytes
			Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes			
Bou.	4,6	8 500	56	5	1	13	15	10
Bri.	4,5	7 500	69	3	0	14	7	7
Car.	4,6	8 400	69	1	0	10	10	10
Vuil.	4,5	8 000	58	1	0	9	16	16
War.	4,9	4 300	56	2	0	15	12	15
Dav.	4,9	5 700	54	3	0	13	10	20
								1 Plasmo- cyte
Lan.	5,0	7 000	64	2	0	11	9	1 Plasmo- cyte
								14
Géu.	5,0	11 100	71	1	0	11	8	9
Ron.	5,0	7 600	55	2	0	17	13	13
Fav.	4,4	7 100	69	4	0	10	9	8
Goy.	4,7	6 800	66	2	0	9	13	10
Leb.	4,7	6 000	66	1	0	11	17	5
Nic.	4,7	8 300	62	1	0	9	22	6
Mir.	5,2	11 600	54	2	0	15	16	13
Pet.	5,0	7 200	43	1	0	21	17	18
Formule Moyenne et écart type.	4,78 ± 0,23	7 660 ± 1860	60,8 ± 6,3	2 ± 1,2	0	12,6 ± 3,4	13 ± 4	11,6 ± 4,4

- 2ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE COMPRISE ENTRE 100 ET 200 MREM -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Mono- cytes
			Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes			
Bui.	4,4	5 400	67	2	0	6	13	12
Col.	4,4	6 600	66	1	0	9	7	17
Cuj.	4,7	8 100	63	2	0	12	10	13
Dav.	4,6	6 000	61	6	0	10	12	11
Lav.	4,4	6 000	55	3	0	14	15	13
Per.	4,8	6 200	57	3	0	20	12	8
Bon.	5,4	8 000	68	1	0	10	11	10
Azi.	4,4	7 100	63	2	0	14	12	9
Formule Moyenne et Ecart Type	4,6 ± 0,34	6 670 ± 970	62,5 ± 4,3	2,5 ± 1,58	0	11,9 ± 4,2	11,5 ± 2,3	11,6 ± 2,8

- 3ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE COMPRISE ENTRE 200 ET 300 MREM -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Mono- cytes
			Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes			
Jul.....	4,4	6 900	70	1	0	9	7	13
Cha.....	5,1	8 100	66	3	0	10	12	9
Mar.....	5,3	8 400	68	1	0	8	9	14
Bra.....	5,4	6 000	73	1	0	7	7	12
Fin.....	5,3	7 500	66	4	0	8	9	13
Pau.....	4,9	5 500	61	9	0	6	12	12
Dri.....	5,1	6 200	54	3	0	12	15	16
								(3 baso)
Dej.....	5,2	7 600	68	4	0	12	8	8
								(1 Cellule) Turck
Formule Moyenne et Ecart Type	5,08 ± 0,31	7 000 ± 1050	65,8 ± 5,8	3,2 ± 2,9	0	9,± 2,2	9,9 ± 2,8	12,1 ± 2,6

- 4ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE COMPRISE ENTRE 300 ET 400 MREM -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Mono- cytes
			Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes			
Del.....	5,4	9 100	64	4	0	13	12	7
Gar.....	4,9	7 400	64	3	0	9	14	10
Rij.....	5,2	7 000	60	2	0	13	12	13
Per.....	5,3	6 800	66	3	0	8	7	16
Dup.....	5,0	8 300	67	2	0	10	10	11
Byr.....	4,4	6 800	66	2	0	10	10	12
								(3 Baso)
Formule Moyenne et Ecart Type	5,03 ± 0,36	7 500 ± 914	64,5 ± 2,5	2,6 ± 0,8	0	10,5 ± 1,9	10,9 ± 2,1	11,5 ± 2,9

- 5ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE COMPRISE ENTRE 400 ET 500 MREM -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Mono- cytes
			Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes			
Jay.....	4,8	9 100	63	3	0	13	9	12
Mon....	5,0	5 700	63	2	0	11	12	12
Cou....	5,0	13 600	69	3	0	12	6	10
Lej.....	4,8	5 500	59	1	0	10	10	20
Mou....	4,4	7 300	57	2	0	16	13	12
Nar....	5,0	10 000	65	3	0	6	9	17
Gui....	5,4	8 000	48	1	0	15	25	11
Formule Moyenne et Ecart Type	4,9 ± 0,33	8 400 ± 3 070	60,6 ± 7,4	2,2 ± 0,9	0	11,9 ± 3,6	12 ± 6,7	13,4 ± 3,9

- 6ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE COMPRISE ENTRE 500 ET 600 MREM -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Mono- cytes
			Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes			
Viv.....	4,8	8 000	62	3	0	9	15	11
Ber.....	5,0	7 300	56	1	0	13	16	14
Jiq.....	4,7	9 400	66	1	0	6	14	13
Pla.....	5,2	9 400	69	4	0	11	5	11
Che....	5,2	11 200	70	2	0	12	7	9
Com....	4,6	8 500	65	3	0	12	6	14
Gon.....	5,1	6 800	67	3	0	12	10	8
Bou.....	5,4	6 500	50	3	0	12	20	15
Fab.....	4,9	6 700	54	2	5	15	10	14
Pol.....	5,0	5 100	56	3	0	15	12	14
Formule Moyenne et Ecart Type	4,99 ± 0,23	7 890 ± 1 800	61,5 ± 6,9	2,5 ± 0,9	0,5	11,7 ± 2,7	11,5 ± 4,8	12,3 ± 2,4

- 7ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE COMPRISE ENTRE 600 ET 700 MREMS -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Monocytes
Gat.....	4,7	6 700	Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes	9	10	10
Cha.....	5,0	6 000	62	5	0	15	10	8
Formule Moyenne	4,85	6 350	65	4	0	12	10	9

- 8ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE COMPRISE ENTRE 700 ET 800 MREMS -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Monocytes
Pay.....	4,7	7 700	Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes	14	14	12
Cha.....	5,0	6 000	62	5	0	15	10	8
Formule Moyenne	4,85	6 850	60	3,5	0	14,5	12	10

- 9ème GROUPE -

- DOSE EBR MENSUELLE MOYENNE SUPERIEURE A 1 REM -

	Hématies en million	Leuco- cytes	- Polynucléaires -			Lympho- cytes	Moyens mononu- cléaires	Mono- cytes	Dose EBR
Est.....	4,7	6 700	Neutro- philes	Eosino- philes	Baso- philes	9	10	10	1 200 mrems
Lec.....	4,8	8 000	71	3	0	8	6	12	1 600 mrems
Var.....	5,0	6 800	67	2	0	11	7	13	2 000 mrems
All.....	4,4	7 100	57	2	0	17	13	11	1 100 mrems
Gio.....	5,1	5 100	61	2	0	12	11	14	1 200 mrems
Bai.....	5,3	8 000	64	4	0	8	10	14	1 000 mrems
Formule Moyenne et Ecart Type	4,88 ± 0,31	6 950 ± 1 090	64,6 ± 6,7	2,6 ± 0,8	0	10,9 ± 3,4	9,5 ± 2,5	12,3 ± 5,1	

1. 1. 1 - *Irradiation individuelle*

La Dose Maximum Admissible est de 5 rems pour 1 an.

Il est possible d'absorber en 13 semaines consécutives une dose de 3 rems.

Mais la dose mensuelle moyenne est de 0,42 rems.

Ainsi comme on le voit il y eut 27 personnes qui dépassèrent régulièrement la Dose Maximum Admissible mensuelle.

Parmi ces 27 personnes, 6 avaient subi une irradiation égale à 3 fois la Dose Maximum Admissible annuelle.

Un sujet subit une irradiation égale à 4 fois la Dose Maximum Admissible.

Et une personne, une irradiation annuelle égale à 5 fois la norme tolérable.

Manifestement certains opérateurs ne prennent pas les précautions indispensables, ou bien sont trop exposés à leur poste de travail.

1. 1. 2 - *Résultats hématologiques*

L'examen des tableaux groupant les 64 Sujets en 9 groupes (100 mrem à 1 rem) permet de constater qu'il n'existe pas de répartition caractéristique suivant les différentes catégories d'exposition.

Les formules moyennes de groupe sont normales dans l'ensemble. Cela ne signifie pas que les radiations ionisantes n'aient pas d'influence sur la formule sanguine.

On peut comparer le résultat moyen du groupe 9 (dose EBR mensuelle moyenne supérieure à 1 rem) à celui du 1er groupe.

Ce premier groupe peut constituer le groupe témoin (l'irradiation qu'il subit est en effet peu importante).

Comme on peut le constater on note une diminution légère du taux moyen de Leucocytes par mm^3 = 7 600 Leucocytes en moyenne pour le premier groupe (irradiation inférieure à 100 mrem).

6 900 Leucocytes en moyenne pour le 9ème groupe (dose EBR mensuelle supérieure à 1 rem).

Cette diminution est on le voit peu marquée.

1. 1. 3 - *Sujets représentatifs*

Reprenons en détail les résultats hématologiques de 3 de ces sujets depuis le début de leur exposition.

Ces sujets sont choisis comme les plus caractéristiques.

La première personne est une femme qui avait 39 ans lorsqu'elle commença à être exposée aux Rayons X en 1959.

Ces examens vont jusqu'en avril 1964.

La dose EBR moyenne mensuelle est d'environ 1200 mrems.

Date	Age	G. R. en million	GB	Hb	VG	PN	PE	PB	L	MM	M
5/59	39 ans	4,3	6 600	95	0,98	72	6	1	10	8	3
10/60		4,62	6 000	107	1,02	68	3	0	11	14	4
5/61		4,64	6 200	106	1,01	66	2	0	10	6	16
11/61		4,76	7 800	106	0,98	70	4	0	6	6	14
5/62		4,35	5 800	95	0,96	86	2	0	3	5	4
10/62		5,32	6 200	106	0,88	73	4	0	8	7	8
4/63		4,32	8 200	100	1,02	65	1	4	6	16	8
11/63		3,66	5 900	83	1	74	4	0	8	8	6
4/64		4,45	8 800	103	1,02	81	1	0	3	11	4

Le deuxième individu est un homme de 58 ans.

La dose EBR mensuelle moyenne est de 1 600 mrem.

Voici ses résultats :

Date	Age	G. R. en million	GB	Hb	VG	PN	PE	PB	L	MM	M
5/59	58 ans	5,53	7 800	110	1	68	0	1	10	10	11
10/59		4,54	8 600	88	0,97	78	2	0	5	5	10
4/60		4,44	8 600	88	1	73	2	1	9	3	12
10/60		4,98	9 000	96	0,96	64	7	0	9	10	10
4/61		4,5	7 800	90	1	72	3	1	5	2	17
11/61		5,5	7 400	102	0,92	68	2	1	10	6	13
10/62		4,62	6 600	96	1,04	80	2	2	9	1	6
5/63		5,18	8 000	106	1,03	76	1	0	4	5	14
12/63		4,82	7 400	100	1,04	80	3	0	3	5	9

Enfin la troisième personne que nous avons retenu comme la plus représentative est également un homme, de 44 ans.

La dose mensuelle moyenne EBR est de 2 000 mrems.

Date	Age	G. R. en million	GB	Hb	VG	PN	PE	PB	L	MM	M
5/59	44 ans	5,38	5 800	106	0,99	65	2	0	18	8	7
10/59		5,19	11 400	102	0,99	58	5	0	20	12	5
12/59		4,75	5 400	94	1	60	1	0	9	14	16
4/60		4,87	5 600	36	0,98	65	0	1	3	11	20
10/60		4,98	6 800	101	1,01	66	1	1	15	3	14
5/61		4,85	4 600	94	0,97	63	1	0	9	5	21
									1 myelocyte		
12/61		5,12	5 600	102	1	78	2	2	4	4	10
6/62		5,22	9 400	102	0,97	70	2	0	7	4	16
									1 myelocyte		
10/62		4,88	7 000	99	1,02	78	3	0	9	4	6
5/63		4,96	5 400	100	1,01	67	1	1	20	3	8
11/63		5,4	10 000	110	1,02	85	3	0	8	0	4
4/64		4,96	6 300	104	1,05	70	1	2	13	8	5
									1 myelocyte		

1.2 - Graphiques

1.2.1 - Les histogrammes de la répartition des hématies, leucocytes, polynucléaires neutrophiles, éosinophiles, lymphocytes, moyens mononucléaires, monocytes à l'intérieur de chaque groupe furent dressés.

Les groupes ont été réduits à 5.

DOSE EBR Moyenne Mensuelle en m rem.	Nombre de Sujets
Inférieure à 100	15
200 à 300	16
400 à 500	13
600 à 700	12
800, et Supérieur à 1000	8

Ces histogrammes furent établis à partir des résultats hématologiques moyens et des doses EBR mensuelles établis comme précédemment.

Sur ces histogrammes figurent les limites des valeurs normales supérieures et inférieures.

1.2.2 - Graphiques divers

De plus, toujours à partir des résultats moyens (Numération - Formule et doses EBR mensuelles) furent dressés trois types de graphiques.

- Le premier est celui des moyennes des différentes variables en fonction des doses EBR. On obtient ainsi la répartition de chaque variable.

- Ensuite ce fut le graphique des fréquences des différentes anomalies (polyglobulie - éosinophilie - mononucléose), toujours en fonction des doses EBR mensuelles croissantes.

- Enfin, pour chaque valeur des variables, fut établie la dose EBR moyenne, et les résultats furent portés en graphique.

EXEMPLE : HEMATIES - pour le taux de 4 500 000 Hématies/mm³ furent déterminées les différentes irradiations correspondantes. On en déduit la moyenne des irradiations, pour un taux de 4 500 000/mm³.

1.2.3 - Interprétation des graphiques

HEMATIES

Une constatation intéressante peut être faite : il y a une augmentation de la moyenne du nombre d'hématies par mm³ du groupe à mesure que la dose EBR croît. Ceci est plus particulièrement visible sur le graphique des moyennes des Hématies en fonction de l'irradiation. On peut constater que le taux moyen des Hématies pour chaque groupe est en progression croissante.

Numération moyenne : 4 780 000 H/mm ³ pour une dose EBR moyenne de 100 mrem							
"	"	4 860 000 H/mm ³	"	"	"	"	de 200 à 300 mrem
"	"	4 960 000 H/mm ³	"	"	"	"	de 400 à 500 "
"	"	4 960 000 H/mm ³	"	"	"	"	de 600 à 700 "
"	"	4 870 000 H/mm ³	"	"	"	"	de 800 à 1000 "

L'augmentation moyenne n'est pas très élevée. Les chiffres extrêmes sont 4 780 000 H/mm³ correspondant à une dose de 100 mrem, et 4 960 000 pour une dose de 600 à 700 mrem.

Par contre le nombre relatif des polyglobulies supérieures à la valeur normale de 5 000 000, n'est pas directement proportionnel à la dose subie, ainsi la courbe de fréquence des polyglobulies en fonction de l'irradiation n'est pas en progression constante.

Mais la courbe présentant les moyennes de doses correspondant à un taux d'hématies donné est en accord avec cette idée : le nombre d'hématies le plus bas correspond à la dose la plus faible. Puis pour des numérations de plus en plus élevées, on peut constater que les irradiations moyennes correspondantes sont elles aussi plus élevées. Ainsi :

- 4 400 000 à 4 500 000 H/mm ³	correspond à une dose EBR moyenne de 230 mrem.
- 4 600 000 à 4 900 000 H/mm ³	" " " " de 490 "
- 5 000 000 à 5 100 000 H/mm ³	" " " " de 570 "

Puis les moyennes deviennent plus faibles :

- 5 200 000 à 5 300 000 H/mm ³	correspond à une dose EBR moyenne de 450 mrem.
- 5 400 000 H/mm ³	" " " " de 400 mrem.

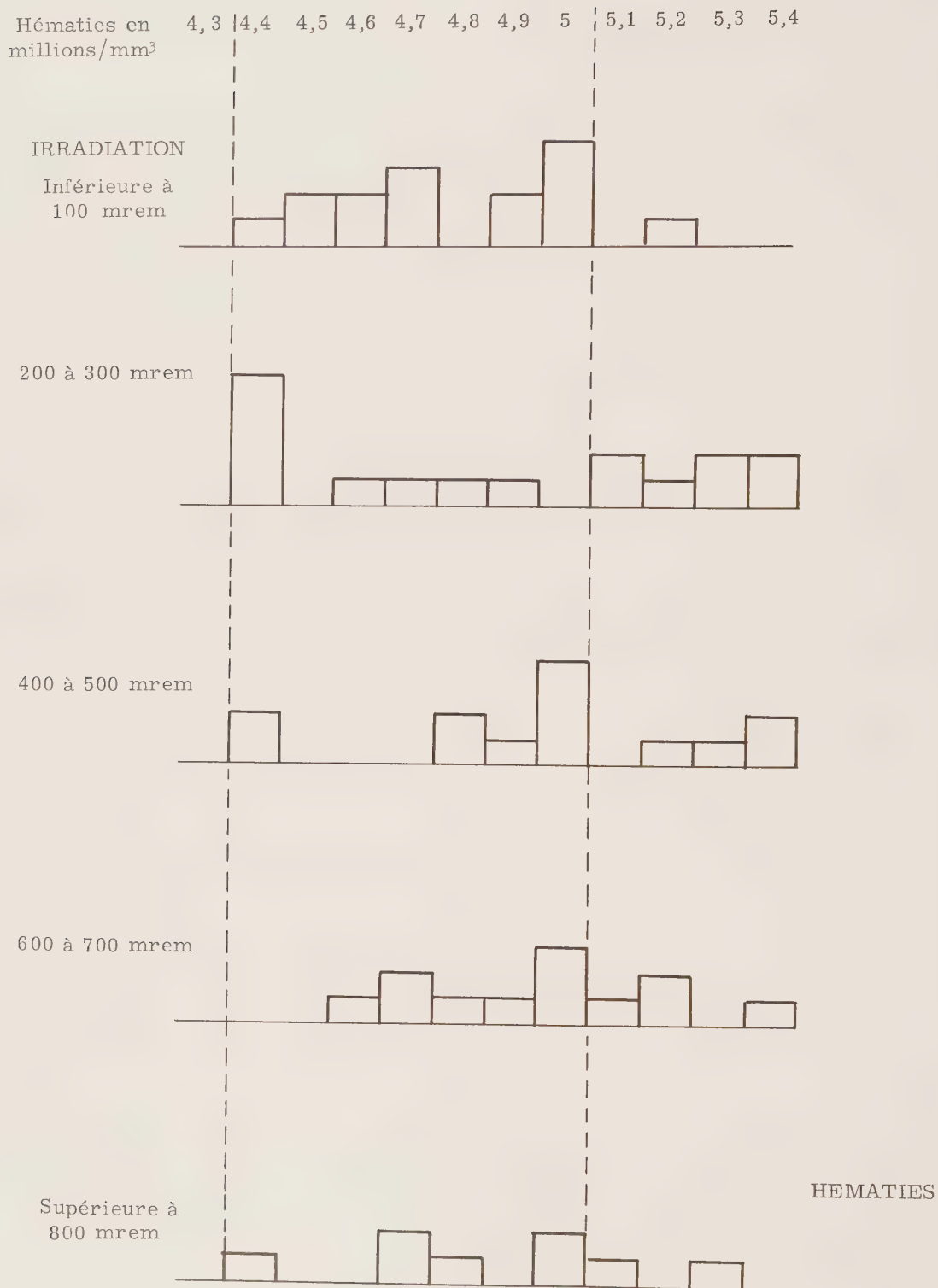
Donc il semblerait que de faibles irradiations entraînent une légère augmentation du nombre moyen des hématies, ce qui pourrait correspondre à une petite stimulation médullaire de la série rouge.

LEUCOCYTES

En ce qui concerne la numération des Leucocytes, rien de positif ne peut être dégagé, et le taux moyen des leucocytes ne semble pas parallèle à la dose.

Par contre il existe d'assez nombreuses anomalies personnelles et durables au sein d'une même catégorie. Elles sont probablement liées à d'autres facteurs individuels.

- Il y a peu d'hyperleucocytose comme on peut le constater sur l'histogramme (5 supérieurs à 9 000 leucocytes/mm³ pour 64 sujets).

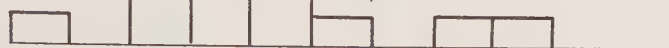


Leucocytes en
milliers par mm³

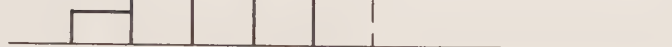
4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

IRRADIATION

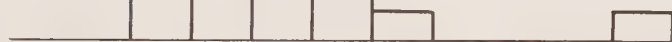
Inférieure à
100 mrem



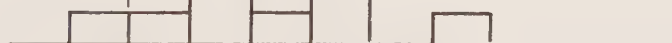
200 à 300 mrem



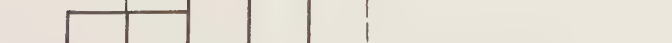
400 à 500 mrem



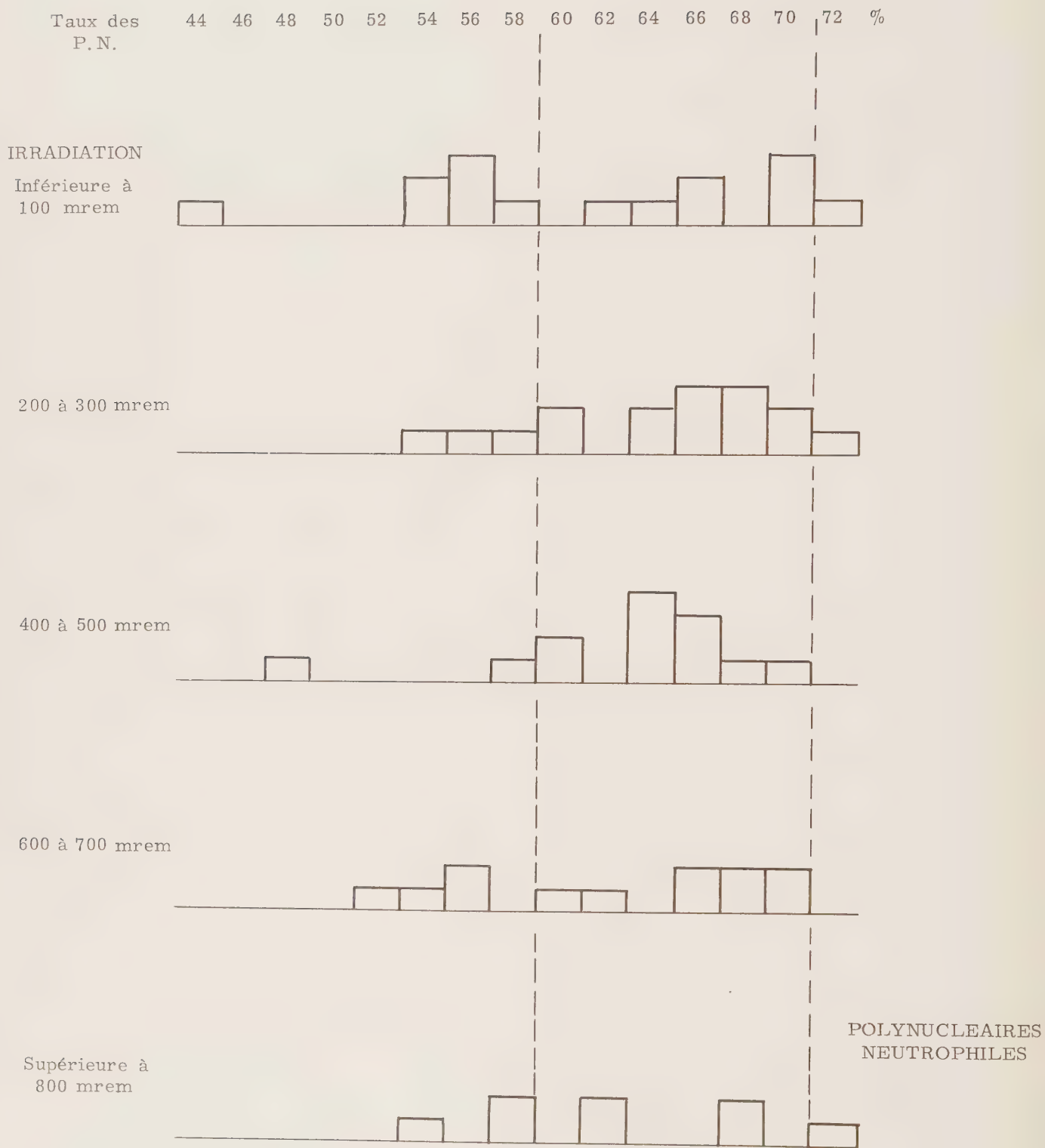
600 à 700 mrem

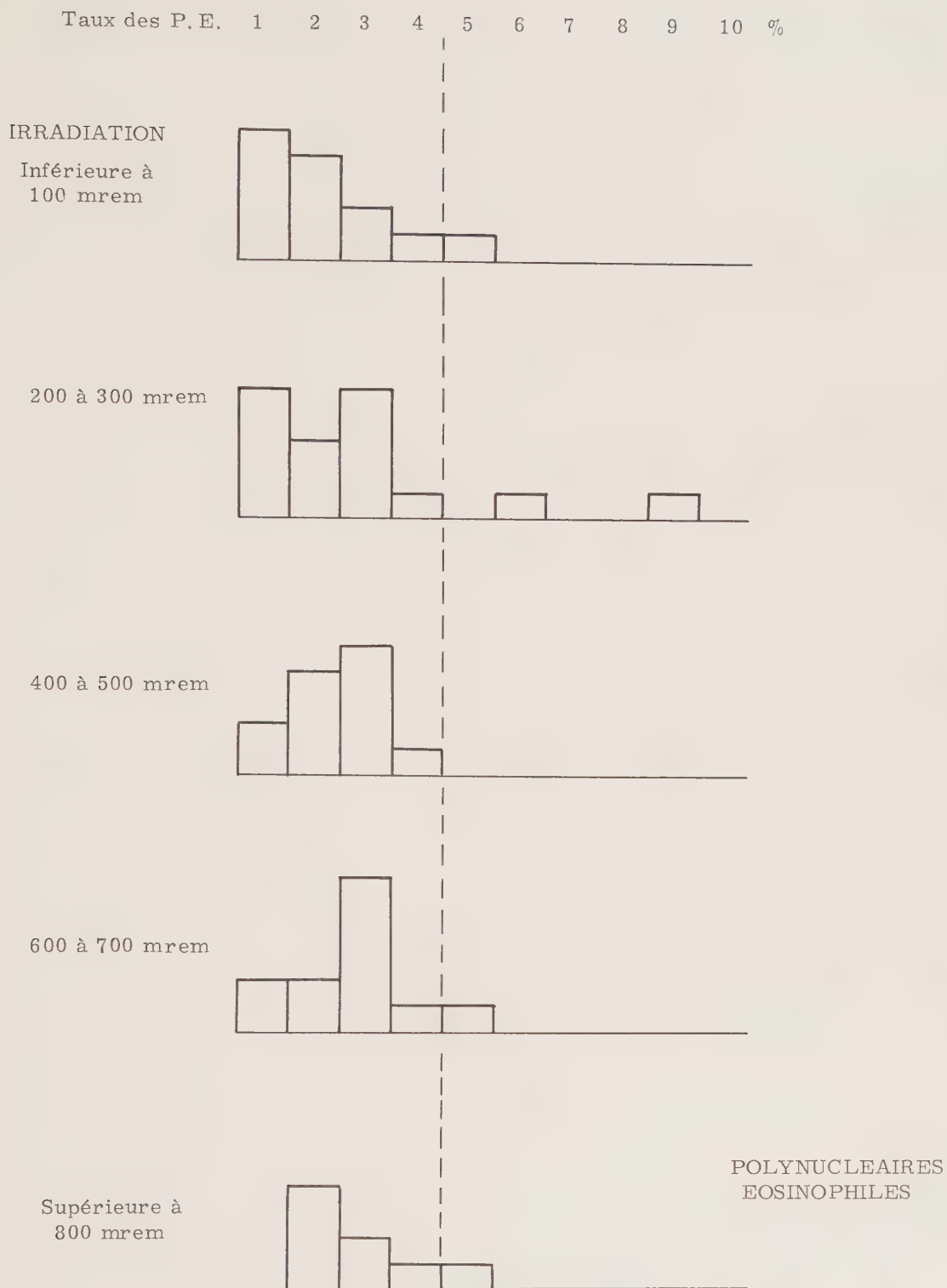


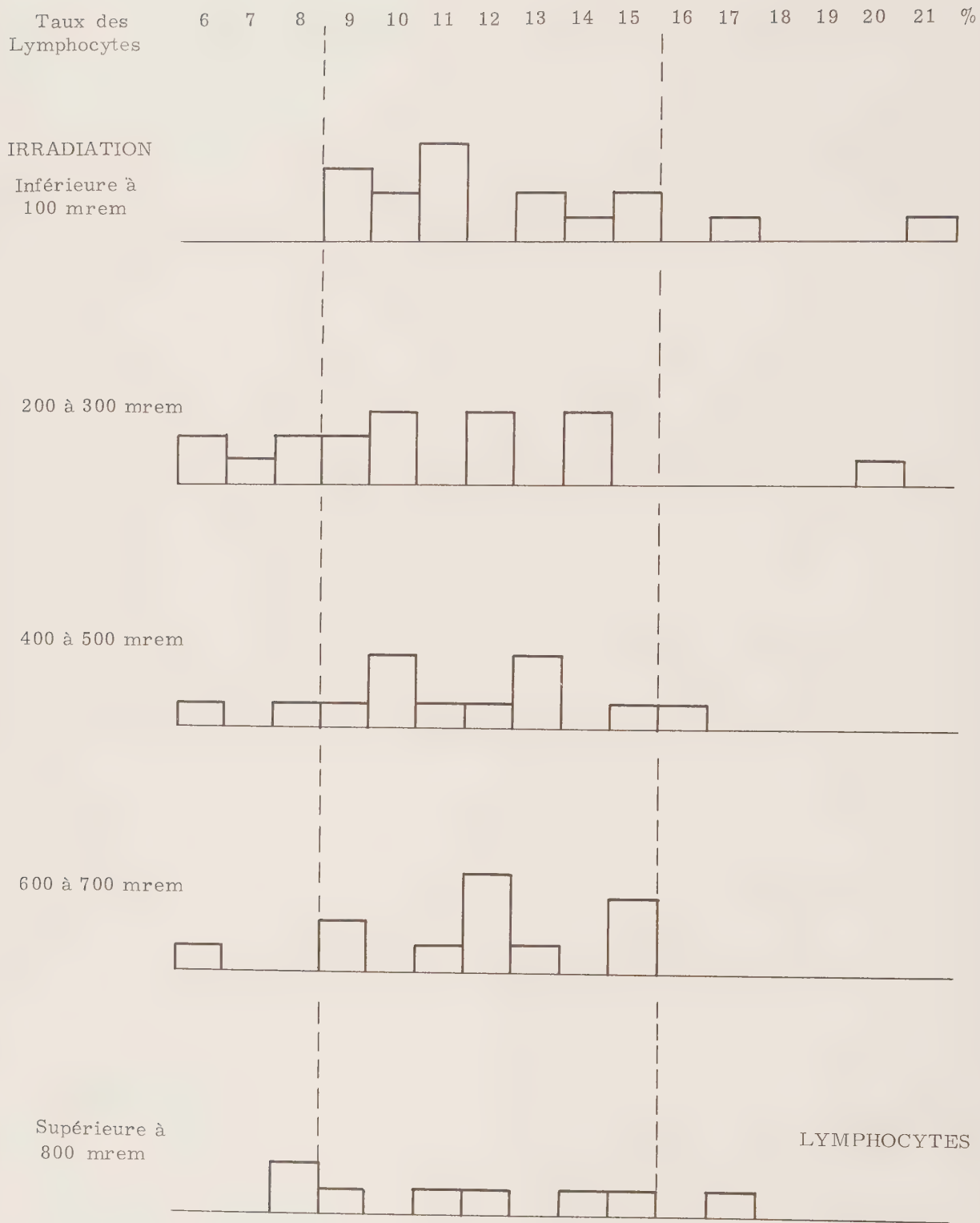
Supérieure à
800 mrem

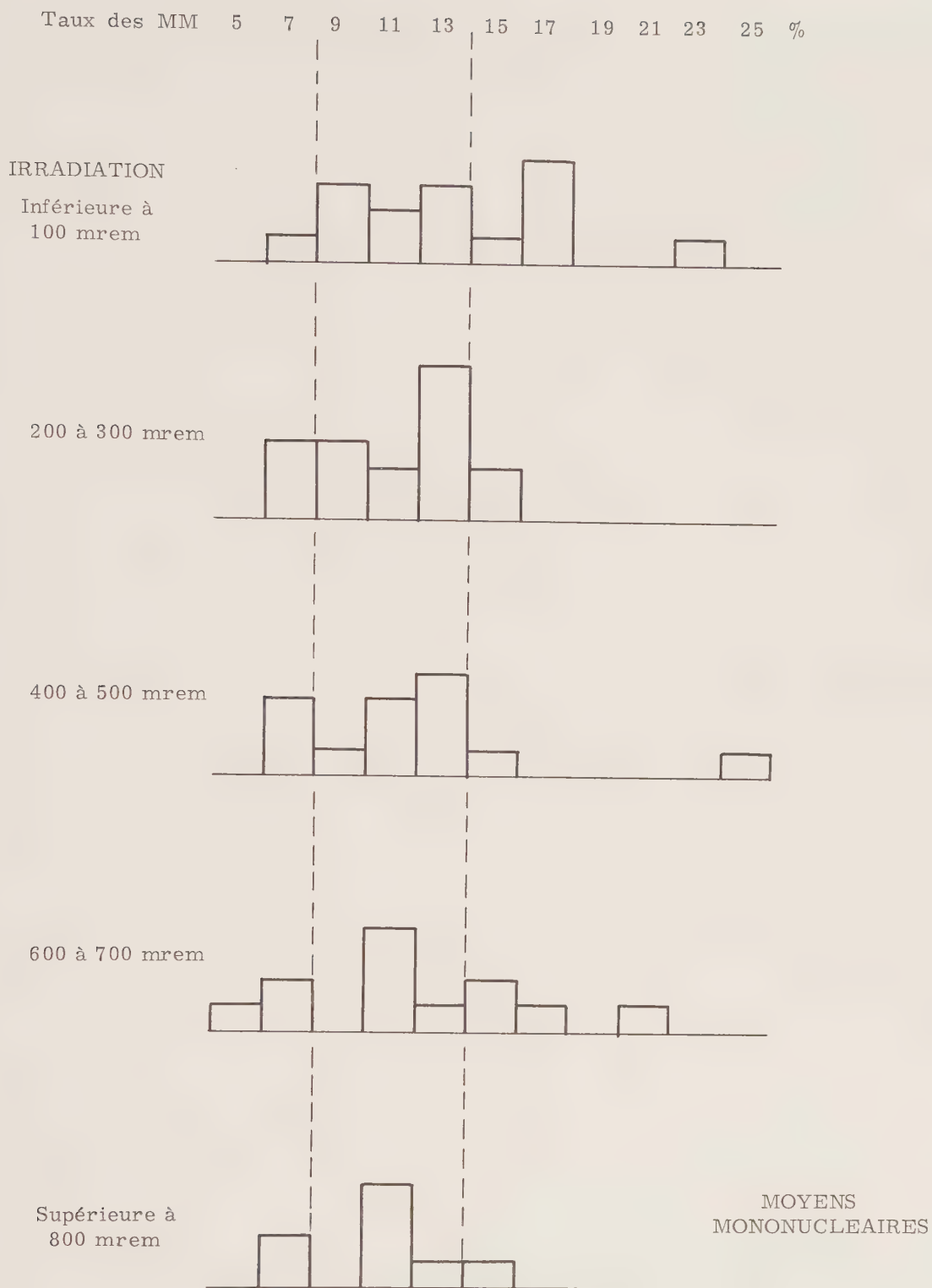


LEUCOCYTES









Taux des Monocytes

5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 %

IRRADIATION

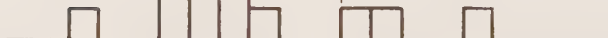
Inférieure à
100 mrem



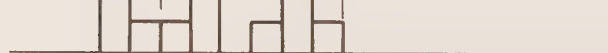
200 à 300 mrem



400 à 500 mrem



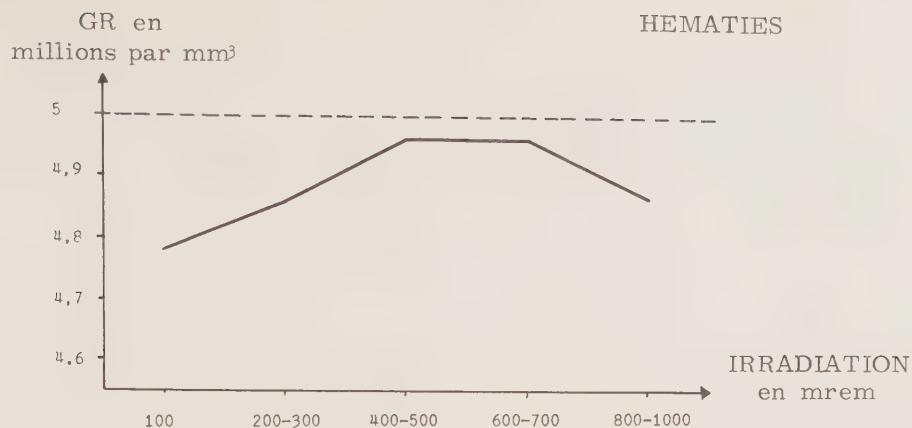
600 à 700 mrem



Supérieure à
800 mrem



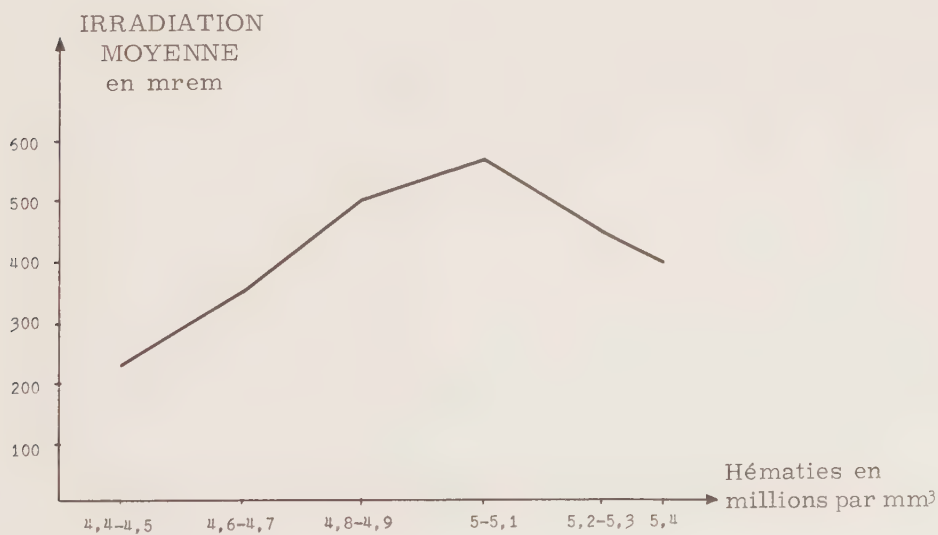
MONOCYTES



Moyenne des Hématies en fonction de l'Irradiation -



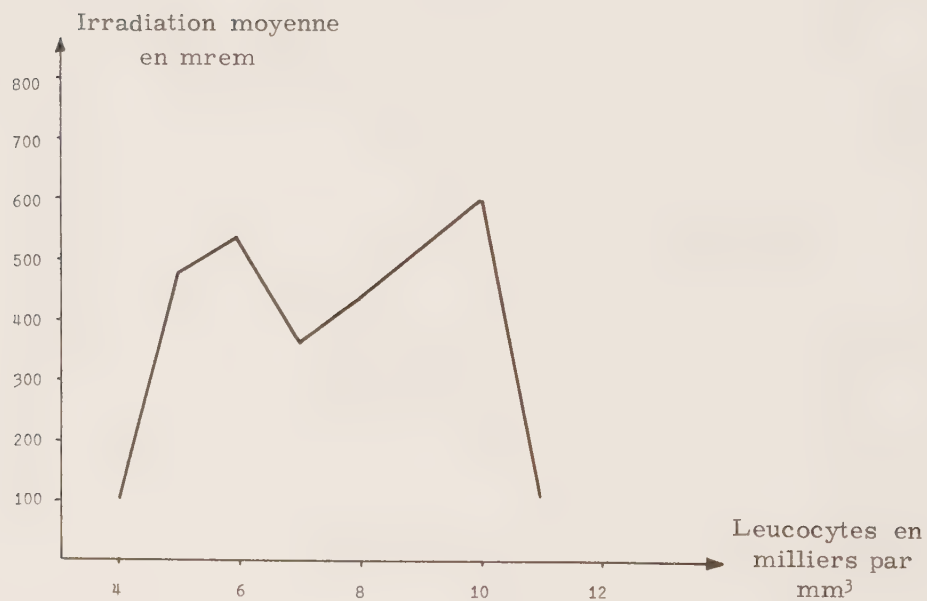
Fréquence des Polyglobulies, supérieures à 5 millions, en fonction de l'Irradiation



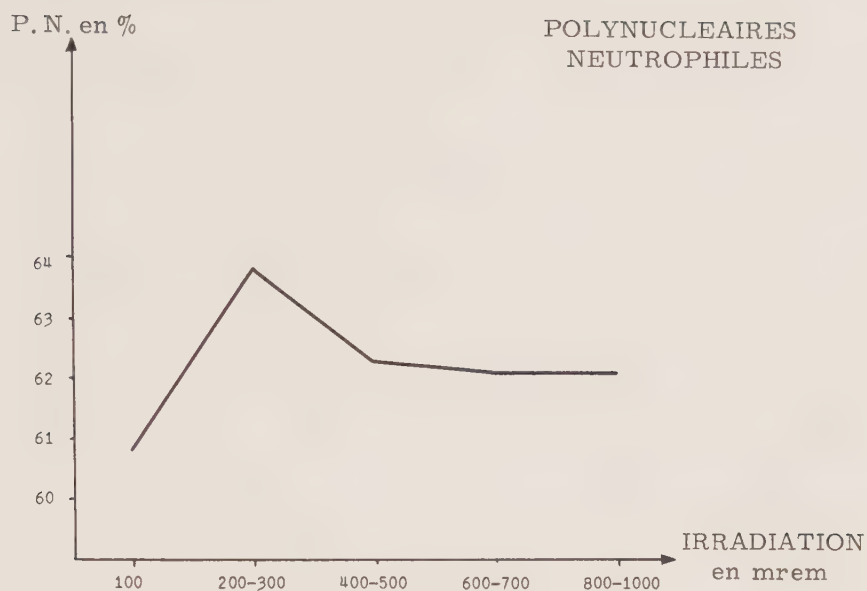
Moyenne des Irradiations correspondant à 1 taux d'Hématies donné



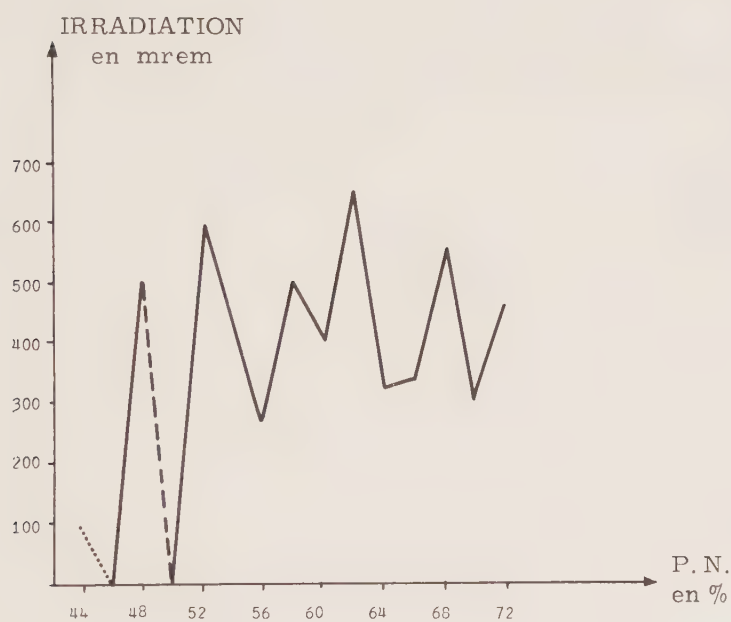
Moyenne des Leucocytes en fonction de l'Irradiation -



Moyenne des Irradiations correspondant à 1 taux de Leucocytes donné -

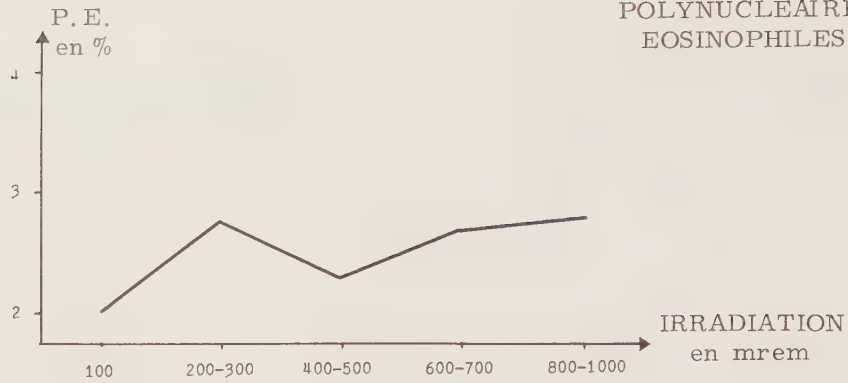


Moyenne des Polynucléaires neutrophiles en fonction de l'Irradiation -

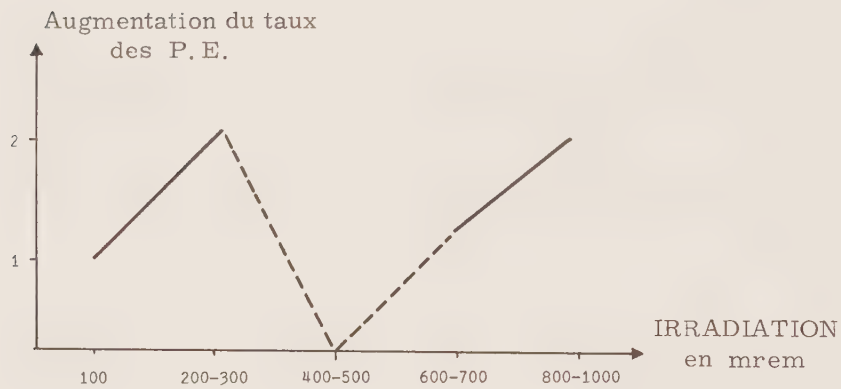


Moyenne des Irradiations correspondant à 1 taux de PN donné -

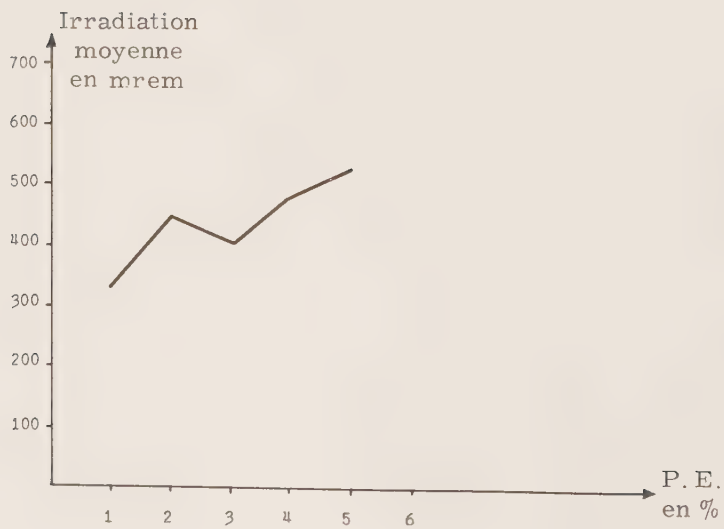
POLYNUCLEAIRES EOSINOPHILES



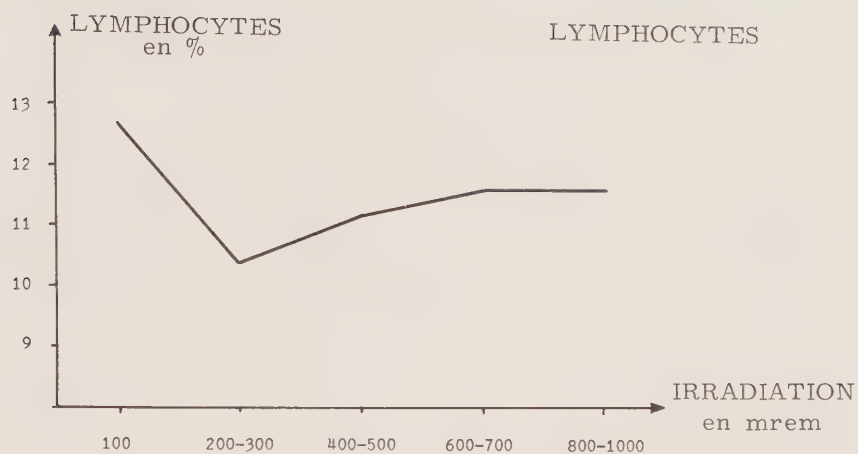
Moyenne des PE en fonction de l'Irradiation -



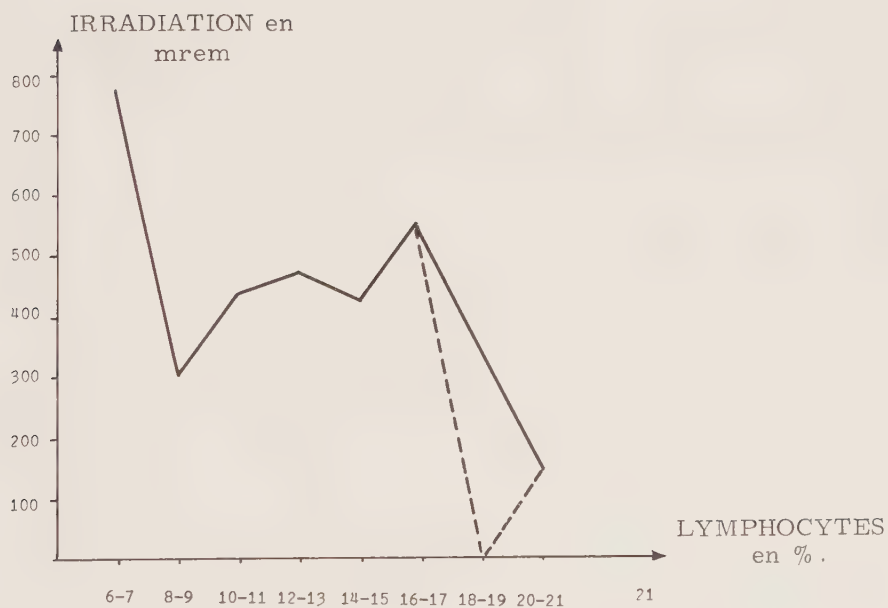
Fréquence des Eosinophilies en fonction de l'Irradiation -



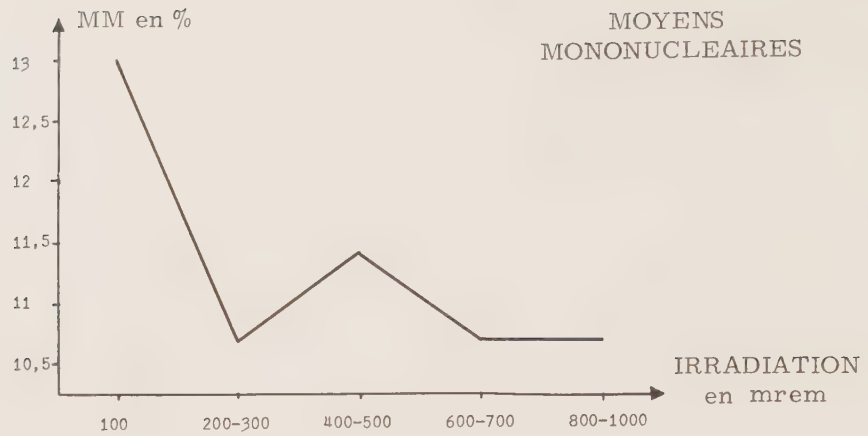
Moyenne des Irradiations correspondant à 1 taux de PE donné -



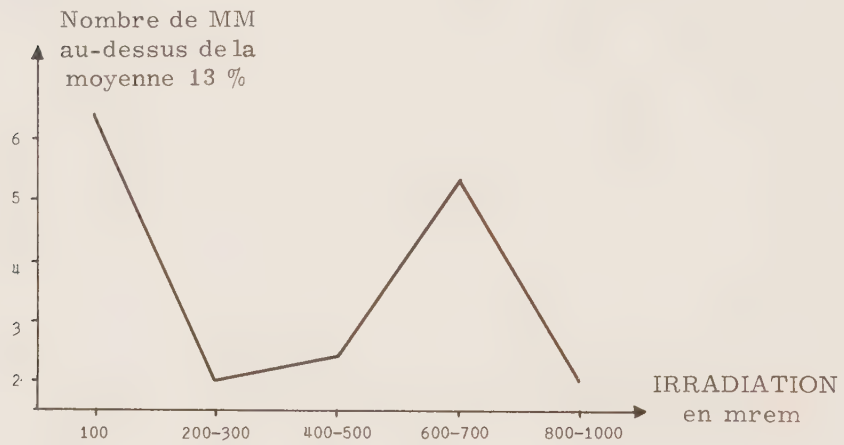
Moyenne des Lymphocytes en fonction de l'Irradiation -



Moyenne des Irradiations correspondant à 1 taux de Lymphocytes donné -



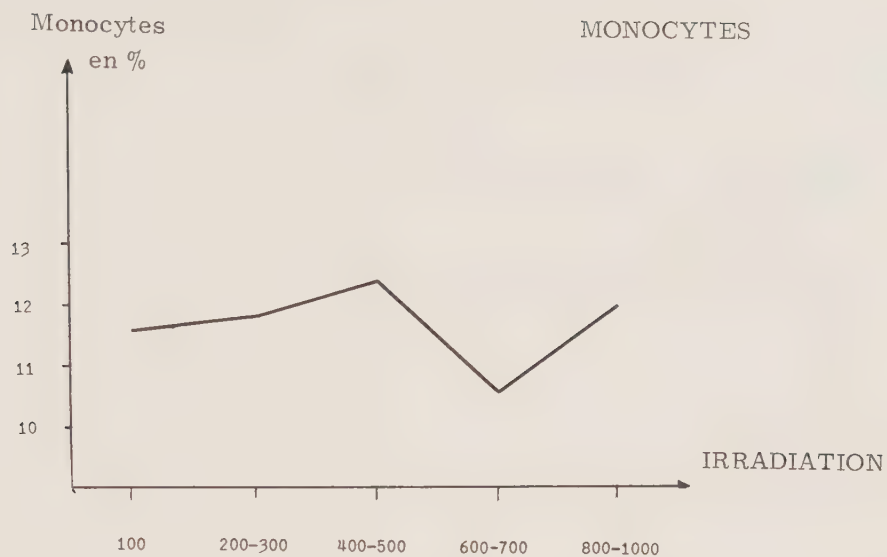
Moyenne des Moyens Mononucléaires en fonction de l'Irradiation -



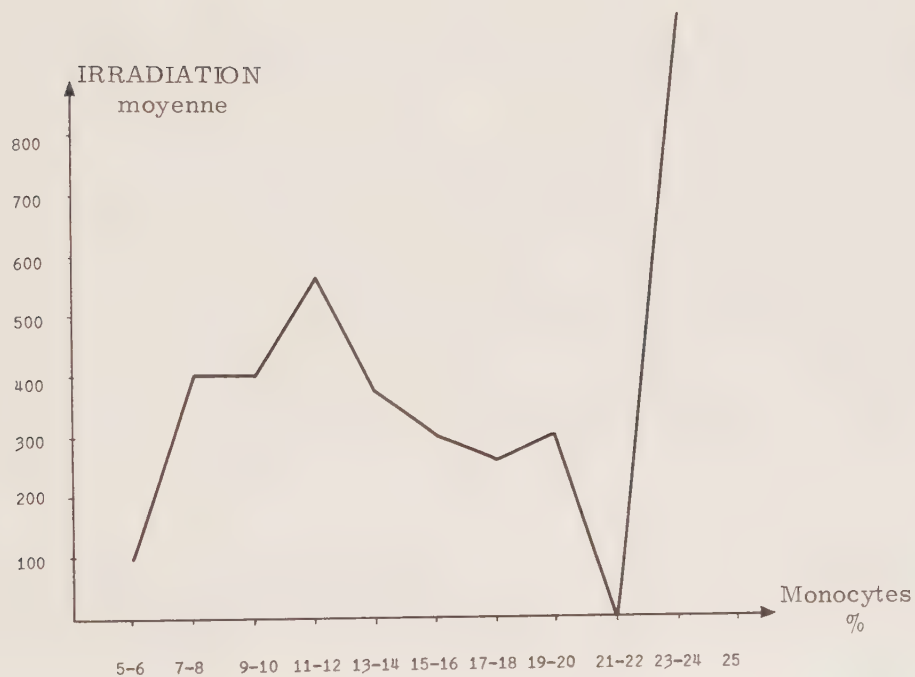
Fréquence des Mononucléoses en fonction de l'Irradiation -



Moyenne des irradiations correspondant à 1 taux de MM donné -



Moyenne des Monocytes en fonction de l'Irradiation -



Moyenne des Irradiations correspondant à 1 taux de Monocytes donné -

- Il en est de même pour les leucopénies
(4 inférieurs à 6 000 leucocytes/mm³ pour 64 sujets).

POLYNUCLEAIRES NEUTROPHILES

Les anomalies sont variables et de deux types opposés.

- Polynucléose : rares
3 supérieurs à 70 % sur 64 sujets.
- Granulopénie : rares également
1 à 44 % de polynucléaires neutrophiles sur 64 sujets.
1 à 48 % de polynucléaires neutrophiles sur 64 sujets.
- 17 Formules sur 65 comportent un pourcentage de polynucléaires neutrophiles compris entre 52 et 58 %.

De même le graphique des moyennes de polynucléaires neutrophiles en fonction de l'irradiation ne présente pas de trait bien caractéristique.

Il en est de même de celui des moyennes des irradiations correspondant à un taux de polynucléaires neutrophiles donné, et celui des fréquences des inversions de formules en fonction de l'irradiation.

(Il n'y a que 2 formules inversées : une correspondant à une dose EBR moyenne de 100 mrem et l'autre à 500 mrem).

POLYNUCLEAIRES EOSINOPHILES

Il faut opposer la rareté remarquable des anomalies durables et la fréquence des anomalies passagères.

La valeur semiologique de l'hyperéosinophilie est en fait très difficile à définir. Si on établit un indice d'éosinophilie en rapportant le nombre d'anomalies transitoires au nombre de numérations examinées on aurait cependant l'impression que ces anomalies sont d'autant plus fréquentes que le sujet paraît plus exposé.

En fait le caractère transitoire de l'éosinophilie enlève de la valeur à cette remarque. La constatation d'une éosinophilie doit donc comme toute autre anomalie être constatée à plusieurs reprises pour garder tout son intérêt.

POLYNUCLEAIRES BASOPHILES

On ne retrouve pas dans les formules moyennes de Basophilie nette car il s'agit toujours d'anomalie accidentelle.

Elle est cependant fréquente, répartie dans les différents groupes et semble avoir plus de valeur peut être que l'éosinophilie.

LYMPHOCYTES

Les anomalies sont peu fréquentes et peu significatives tantôt en moins, tantôt en plus (le plus souvent) mais les graphiques ne permettent pas d'en tirer des conclusions intéressantes.

MOYENS MONONUCLEAIRES

- Il semble en observant le graphique des moyennes en fonction de l'irradiation, et le graphique opposé, c'est-à-dire celui des moyennes des irradiations correspondant à un taux de moyens mononucléaires donné, que le pourcentage de ces éléments diminue en fonction de l'irradiation.

Ainsi, pour une dose EBR de 100 mrem le taux des moyens mononucléaires est de 13 %.

pour 200 à 300 mrem	il est de 10,7 %
pour 400 à 500	" " " de 11,4 %
pour 600 à 700	" " " de 10,7 %
pour 800 à 1000	" " " de 10,7 %

- De même le graphique des moyennes des doses EBR permet de faire la même constatation :

Le taux de moyens mononucléaires le plus bas, soit 5 à 6 %, correspond à la moyenne des irradiations la plus forte soit : 800 mrem.

Pour un taux de 7 à 8 %	la dose EBR moyenne est de 460 mrem.
" " " de 9 à 10 %	" " " de 500 mrem.
" " " de 11 à 12 %	" " " de 380 mrem.
" " " de 13 à 14 %	" " " de 150 mrem.
" " " de 15 à 16 %	" " " de 290 mrem.
" " " de 17 à 18 %	" " " de 200 mrem.
" " " de 21 à 22 %	" " " de 100 mrem.

La moyenne des irradiations pour 19 à 20 % correspond à un niveau d'irradiation plus élevé soit de 600 mrem. Elle semblerait donc en contradiction avec les observations précédentes. En fait il faut considérer que cette valeur est basée sur un seul cas. Il n'y a qu'un seul sujet dont la dose EBR moyenne de 600 mrem correspond à un taux de 20 % de moyens mononucléaires.

Cette remarque enlève beaucoup de la valeur à ce point sur le graphique.

La valeur de la moyenne des irradiations pour le taux de 25 % appelle la même réflexion et cette valeur n'est pas très sûre.

Donc, il semblerait que les faibles irradiations entraînent une diminution du taux des moyens mononucléaires.

MONOCYTES

Le taux des monocytes ne semble pas très influencé.

Les moyennes de groupe en fonction du niveau d'irradiation sont relativement constantes.

De même les moyennes des irradiations correspondant à un taux donné de monocytes ne sont pas non plus significatives et rien de caractéristique ne peut être obtenu.

2 - DEUXIEME PROCEDE : TRAITEMENT STATISTIQUE A L'AIDE D'UN CALCULATEUR ELECTRONIQUE

Il sembla intéressant d'effectuer une étude statistique complète de tous les chiffres en notre possession.

Pour chaque individu, tous les résultats hématologiques, tous les relevés d'irradiation, toutes les dates furent repris et recopiés sous un code spécial assimilable par un ordinateur électronique.

On détermina les doses cumulées par chaque individu depuis le début de l'exposition à la date de chaque examen hématologique.

2.1 - Choix et classement des variables

Le but essentiel du calcul concernait l'influence des rayonnements sur les divers constituants du sang.

Pour se ramener aux conditions les plus voisines pour tous les individus, on a fait intervenir l'âge, et étudié l'action de la dose sous deux formes : la dose mensuelle, qui donne le niveau d'intensité, et la dose cumulée, qui donne le niveau de quantité.

REMARQUE : Les relevés des doses mensuelles ne correspondent pas forcément aux dates des examens sanguins ; on a donc, pour avoir le maximum d'informations, réuni toutes les mesures de doses mensuelles connues, pour en calculer une dose moyenne mensuelle. Les doses ayant servi à ce calcul ne sont pas dispersées pour un même individu, l'erreur est donc très faible.

On a traité séparément les problèmes pour le sexe masculin et pour le sexe féminin en prenant les mêmes variables :

- Variables Indépendantes : Age

Dose Mensuelle

Dose cumulée

- Variables Dépendantes : Hématies

Leucocytes

Hémoglobine

Valeur Globulaire

Polynucléaires neutrophiles

éosinophiles

basophiles

Lymphocytes

Moyens mononucléaires

Monocytes

2.2 - Méthode de calcul

Les données, (197 observations pour les femmes et 368 pour les hommes) recopiées sous un Code spécial assimilable par le calculateur électronique, ont été soumises au programme statistique de régression multiple.

Ce programme fournit les coefficients de corrélation entre les différentes variables. Il sélectionne, dans l'ordre de leur influence, les variables indépendantes agissant sur la variable dépendante à l'aide du test statistique F, de SNEDECOR sur les rapports de variances. Il ne retient, dans l'équation de prévision, que les variables significatives au taux de probabilité fixé. Le programme délivre, en outre, la comparaison complète entre les valeurs données et les valeurs recalculées.

Pour fixer la limite de validité des résultats énoncés, il faut les considérer comme valables pour les observations données dans les domaines de variation où ils ont été obtenus.

30 < Age < 59 ans

20 < Dose mensuelle < 2 000 mrem

40 < Durée de l'observation < 65 mois

Ceci afin d'éviter d'extrapoler ces résultats pour d'autres domaines.

2.3 - Résultats des calculs

2.3.1 - $Y = \text{Hématies}$

FEMMES - (197 observations)

La seule variable testée comme significative est la *dose mensuelle* ; son influence sur le nombre d'hématies est positive, mais faible, et l'équation donnant le nombre de globules rouges en fonction de la dose mensuelle est :

$$10^{-3} Y = 4487 + 0,145 \text{ dose mensuelle}$$

HOMMES - (368 observations)

La dose cumulée est significative ; son coefficient est négatif, c'est-à-dire que plus la dose croît, plus le nombre d'hématies diminue, l'équation étant :

$$10^{-3} Y = 5055 - 0,0026 \text{ Dose Cumulée}$$

2.3.2 - $Y = \text{Leucocytes}$

FEMMES - (197 observations)

Aucune des 2 variables "dose" n'a une action significative, seul l'âge intervient avec un coefficient négatif.

$$Y = 8596 - 26,95 \text{ Age}$$

HOMMES - (368 observations)

Ce cas est le plus valable des cas étudiés dans cette étude, la dose mensuelle est hautement significative avec un test F de 16,44 par rapport à un seuil de 2,7 à la probabilité de 90 %, et à un seuil de 10,4 à la probabilité de 99,9 %.

L'influence de la dose mensuelle sur le nombre des globules blancs d'un individu masculin est donc nette dans ce cas, et ce nombre diminue lorsque la dose croît.

L'âge est la deuxième variable significative et l'équation délivrant le nombre de leucocytes est :

$$Y = 11377 - 1,47 \text{ Dose Mensuelle} - 57,15 \text{ Age}$$

2.3.3 - $Y = \text{Hémoglobine}$

FEMMES - (197 observations)

La dose mensuelle est seule significative (niveau F de 3,36 par rapport au seuil 2,7 à 90 % de probabilité) son influence est faible et positive sur l'hémoglobine.

$$Y = 88,6 + 0,0032 \text{ Dose Mensuelle}$$

HOMMES - (368 observations)

Les doses mensuelles ou cumulées ne se sont pas révélées significatives sur le taux d'hémoglobine pour les hommes ; l'âge, par contre, aurait une influence négative, mais faible.

$$Y = 105 - 0,104 \text{ Age}$$

2.3.4 - $Y = \text{Valeur Globulaire}$

Aucune des trois variables n'a d'influence significative sur la valeur globulaire.

Observons les résultats d'Hématies et d'Hémoglobine concernant le sexe féminin, nous voyons que l'action de la dose mensuelle est significative et de même signe sur le nombre de globules rouges et sur le taux d'hémoglobine ; or, par définition, la valeur globulaire est proportionnelle au rapport :

$$\frac{\text{Taux d'hémoglobine trouvé}}{\text{Nb. d'hématies trouvé}}$$

De plus, les variations relatives des hématies et de l'hémoglobine en fonction de la dose mensuelle reçue ont sensiblement même valeur. On a, en effet, par dérivation logarithmique, si

$$VG = K \times \frac{\text{Hémoglobine}}{\text{Hématie}}$$

$$\frac{d(VG)}{VG} = \frac{d(\text{Hémoglobine})}{\text{Hémoglobine}} = \frac{d(\text{Hématies})}{\text{Hématies}}$$

$$\frac{d(\text{Hématies})}{\text{Hématies}} \simeq + \frac{0,145}{4480} dx = 3,2 \cdot 10^{-5} dx$$

$$\frac{d(\text{Hémoglobine})}{\text{Hémoglobine}} \simeq + \frac{0,0032}{89} dx = 3,6 \times 10^{-5} dx$$

Donc :

$$\frac{d(VG)}{VG} \simeq 0$$

Ceci explique que la valeur globulaire ne varie pas significativement en fonction de la dose.

Les calculs effectués avec "Tests Nuls" (c'est-à-dire, sans fixer de seuil de signification à l'entrée des variables) permettent de s'assurer du faible niveau F. des variables. Ainsi, dans le cas 1-114, les niveaux d'entrée non significatifs à 90 % étaient :

pour la variable 3 : 0,948

pour la variable 1 : 0,580

pour la variable 2 : 0,202

2.3.5 - *Y = Polynucléaires neutrophiles*

FEMMES - (197 observations)

Deux variables sont significatives au test 90 % de probabilité :

- l'Âge

- La Dose Cumulée dans cet ordre.

L'équation qui donne PN en fonction de ces deux variables est :

$$Y = 69 + 0,000099 \text{ Dose Cumulée} - 0,14 \text{ âge}$$

HOMMES - (368 observations)

L'âge est très significatif.

Plus il croît, plus le nombre de PN croît suivant la loi :

$$Y = 50 + 0,27 \text{ Age}$$

2.3.6 - *Y = Polynucléaires éosinophiles*

FEMMES - (197 observations)

Les doses n'ont pas d'influence, l'âge, par contre est significatif, son coefficient est faible et positif

$$Y = 0,052 \text{ Age} - 0,2$$

La dispersion est forte pour un individu dans le nombre de PE, si bien que ce cas n'est pas très concluant.

HOMMES - (368 observations)

Aucune variable n'est sortie significative.

2.3.7 - *Y = Polynucléaires basophiles*

Aucune variable n'a d'influence significative.

2.3.8 - $Y = \text{Lymphocytes}$

FEMMES - (197 observations)

L'âge est significatif à coefficient positif

$$Y = 6,3 + 0,12 \text{ Age}$$

HOMMES - (368 observations)

L'âge est significatif à 90 %, mais son influence est très faible.

$$Y = 15,8 - 0,07 \text{ Age}$$

2.3.9 - $Y = \text{Moyens mononucléaires}$

FEMMES - (197 observations)

Aucune variable n'a d'influence significative.

HOMMES - (368 observations)

Les trois variables testées comme significatives sont dans l'ordre :

- L'âge
- La dose cumulée
- La dose mensuelle

et l'équation de prévision du nombre de moyens mononucléaires en fonction de ces 3 grandeurs, est :

$$Y = 16,8 - 0,124 \text{ Age} + 0,0016 \text{ Dose Mensuelle} - 0,000076 \text{ Dose Cumulée}$$

2.3.10 - $Y = \text{Monocytes}$

FEMMES - (197 observations)

Le nombre de monocytes décroît en moyenne avec la dose cumulée suivant l'équation :

$$Y = 10,9 - 0,00005 \times \text{Dose Cumulée}$$

HOMMES - (368 observations)

L'influence de l'âge est faible, mais décroissante, et c'est la seule variable significative.

$$Y = 14 - 0,062 \text{ Age}$$

REMARQUES :

Les nombres affectés à PN, PE, PB, L, MM, M, étant en fait des proportions, sont donc liés par une relation. Si l'une de ces grandeurs croît la somme des autres doit décroître par voie de conséquence.

On vérifie sur l'action globale de la variable "âge" par exemple, que l'équilibre de la répartition est respecté, c'est-à-dire que la somme algébrique des effets est sensiblement nulle.

La somme des coefficients correspondant à cette variable est :

- dans le cas du sexe féminin :

$$- 0,14 + 0,05 + 0,12 = + 0,03 \simeq 0$$

- dans le cas du sexe masculin :

$$+ 0,27 - 0,07 - 0,124 - 0,062 = + 0,01 \simeq 0$$

2.4 - Interprétation

HEMATIES

Comme on peut les voir les résultats obtenus sont contradictoires d'un groupe à l'autre.

En effet pour les femmes une dose croissante entraîne une augmentation du nombre des Hématies/mm³ alors que pour les hommes c'est l'inverse (plus la dose croît, plus le nombre d'Hématies diminue).

On ne retrouve donc pas les résultats que nous avons constaté par le premier procédé d'étude.

On ne peut donc pas retenir pour cette catégorie d'individus une variation en plus ou en moins du nombre d'Hématies/mm³ comme test d'exposition à une irradiation externe chronique par les rayons X.

LEUCOCYTES

- En ce qui concerne les femmes, l'irradiation chronique aux Rayons X n'a pas entraîné de modifications du nombre des Leucocytes.

soit parce que l'irradiation était insuffisante.

soit parce que les femmes sont plus résistantes (?).

soit parce que l'âge était nettement plus significatif dans cette étude que l'irradiation.

Quoiqu'il en soit on ne constate pas d'influence des radiations X sur le taux des Leucocytes pour les femmes.

- Par contre en ce qui concerne les hommes, la dose mensuelle se montra hautement significative d'un point de vue statistique. Nous pensons qu'elle l'est également d'un point de vue biologique. Une irradiation chronique entraînerait une diminution du taux des Leucocytes.

Ceci est intéressant. On peut retenir ce caractère comme test de surveillance.

HEMOGLOBINE

On peut tenir le même raisonnement pour cette variable, le taux d'Hémoglobine est influencé chez la femme par des doses chroniques de rayonnement X, alors qu'il n'en est rien chez l'homme.

Mais dans ce cas, sur le plan statistique l'influence de l'irradiation chronique ne s'est pas montrée aussi significative que dans les cas des Leucocytes.

On peut en conclure qu'il en est de même sur le plan biologique, et que les variations du taux d'hémoglobine au cours de la surveillance systématique d'individus soumis à de faibles doses de rayonnement X ne sont pas significatives.

POLYNUCLEAIRES NEUTROPHILES - EOSINOPHILES - BASOPHILES - LYMPHOCYTES -

Pour les hommes comme pour les femmes, l'âge est plus significatif que l'irradiation. Ceci prouve qu'une variation du taux de ces éléments au cours d'une surveillance d'individus soumis professionnellement à des radiations ionisantes, peut être due non pas à l'irradiation externe mais à plus de chance d'être due à des causes tout à fait étrangères. Ainsi dans le cas présent une variable tout à fait indépendante de l'irradiation, l'âge, est plus significative que les doses mensuelles et cumulées.

On retrouve les mêmes impressions déjà signalées lors de l'interprétation du premier procédé. Rien ne se dégageait de bien significatif.

Cette étude statistique le confirme très nettement.

MOYENS MONONUCLEAIRES :

On ne retrouve pas ici les variations qui semblaient apparaître après étude par le premier procédé.

Aucune variable ne s'est révélée significative chez les femmes. En ce qui concerne les hommes, l'âge est plus significatif, statistiquement parlant, que l'irradiation.

Ainsi encore une fois, une variation du taux des Moyens Mononucléaires a plus de chance d'être due à une cause étrangère à l'irradiation.

MONOCYTES :

La dose cumulée est significative sur le plan statistique en ce qui concerne les femmes ; chez les hommes par contre l'âge est plus significatif que l'irradiation.

Une fois de plus on ne peut conclure à l'influence des rayonnements sur ces éléments.

Ils ne peuvent être pris comme test de surveillance d'une exposition chronique aux radiations ionisantes.

En résumé, il semble se dégager de toute cette étude les faits suivants :

De faibles doses de rayonnements ionisants (type Rayons X) semblent avoir une influence sur le taux des leucocytes, la variation se faisant dans le sens d'une diminution.

Par contre il n'est pas apparu de variations sur le nombre d'Hématies, le taux d'Hémoglobine, la Valeur Globulaire, le taux de Polynucléaires neutrophiles, éosinophiles, basophiles, les Lymphocytes, les Moyens Mononucléaires, les Monocytes.

CHAPITRE VIII

COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS AVEC LES DONNÉES CLASSIQUES

1 - TRAVAILLEURS EXPOSES PROFESSIONNELLEMENT A UNE IRRADIATION EXTERNE ET INTERNE

On peut comparer les résultats obtenus au cours de cette étude à ceux publiés par les Russes (40) et concernant les modifications de la Numération et de la Formule Sanguine chez les travailleurs occupés à l'extraction et à la préparation des matières premières radioactives.

Chaque individu subit une série d'examens cliniques et biologiques détaillés, une semaine avant le début du travail.

Puis les examens systématiques furent pratiqués régulièrement dès le début de l'exposition. En fait les dangers étaient doubles : d'une part l'irradiation externe, d'autre part l'irradiation interne de l'organisme due à la contamination interne par absorption de composés radioactifs.

Ces sujets présentèrent une leucopénie avec inversion de la formule (lymphocytose relative et absolue) et une légère anémie hyperchrome.

2 - DONNEES CLASSIQUES

Nous n'avons pas retrouvé les variations signalées précédemment, et cependant certains sujets avaient subi des doses relativement importantes, jusqu'à 5 fois les normes.

On nota en effet au cours de cette étude aucune inversion de formule, aucune éosinophilie.

Tout au plus, il a semblé qu'on pouvait tenir compte d'une certaine leucopénie.

3 - COMMENT EXPLIQUER LES DIVERGENCES ?

- Les sujets que nous avons étudié étaient exposés à des doses relativement faibles (mis à part les quelques personnes qui dépassaient régulièrement les normes). Ces doses, en tout état de cause, étaient faibles à côté de celles subies par les anciens radiologues qui travaillaient avec des appareils dangereux et défectueux, et sans prendre beaucoup de précautions.

Or toutes les données classiques ont été obtenues à partir des examens pratiqués chez ces premiers radiologues. Les doses qu'ils avaient subies étaient mal connues certes, mais étant malgré tout bien supérieures aux normes professionnelles actuelles. Cela peut expliquer cette divergence de résultats.

Les normes actuelles sont établies avec un important coefficient de sécurité et un dépassement peu important de dose n'entraîne pas pour autant d'altérations hématologiques.

Il en est de même pour les mineurs Russes. Ceux-ci avaient subi une irradiation beaucoup plus importante que les normes professionnelles du fait de l'irradiation externe et interne.

Il est bien connu en effet que les travailleurs affectés à l'extraction de minerais radioactifs, sont parmi les plus exposés.

- En outre ces infirmiers radiologues travaillent depuis quelques années. Or, expérimentalement, il a été constaté que des chiens exposés tous les jours à de faibles doses de Rayons X

présentaient une fluctuation des valeurs hématologiques pendant les premières semaines et les premiers mois de l'irradiation puis une stabilisation de l'hémogramme.

On ne peut déceler des troubles graves de l'hématopoïèse (agranulocytose, pancytopenie) qu'après des années d'irradiation.

De même chez des travailleurs exposés à des radiations ionisantes il a été trouvé une leucopénie avec neutropénie au cours de la première année de l'irradiation. Puis tout rentra dans l'ordre.

Des nouveaux signes d'altération hématologiques n'apparurent qu'après 15 ans d'exposition.

4 - VALIDITE DE LA SURVEILLANCE HEMATOLOGIQUE

Avant tout on doit garder présentes à l'esprit les variations non pathologiques de tout examen hématologique. Ces modifications ont des causes très variées.

- L'émotion lors du prélèvement (peur de la prise de sang, inquiétude sur les conséquences entraînées par un résultat anormal...), entraîne une fluctuation du taux des hématies, une diminution du nombre des leucocytes, une chute des polynucléaires neutrophiles, une augmentation des lymphocytes (39).

Toutes ces variations ressemblent à s'y méprendre à celles qui sont décrites après irradiation.

- De même il faut tenir compte des fluctuations physiologiques de l'hémogramme, de l'influence des infections intercurrentes dont le développement est souvent latent (en particulier des maladies à virus qui en l'espace seulement de quelques semaines peuvent donner une leucopénie, accompagnée de lymphocytose relative ou même absolue).

- Recherchant un test qui permettrait d'apprécier l'importance de l'action des rayonnements ionisants, on voit qu'il est difficile d'interpréter un résultat hématologique isolé.

Lorsque l'examen a une grosse importance pour l'intéressé, ce qui entraîne une certaine émotion, on peut arriver à la conclusion que les résultats d'une seule analyse sont complètement faussés. De plus l'hémogramme n'est qu'un examen indirect, il n'est qu'un reflet des organes hématopoïétiques, les radiations ionisantes n'ayant aucune action sur le sang périphérique aux faibles doses.

Ainsi, à la suite d'une irradiation accidentelle une poussée granulocytaire ou une lymphopénie légère peuvent n'avoir aucun rapport avec l'irradiation. Il faudra répéter les prélèvements.

Si la dose n'excède pas une dizaine de rems, tout rentrera dans l'ordre avec le retour au calme.

- De plus à chaque modification de l'hémogramme il ne faut pas penser automatiquement à l'irradiation. Il faut pratiquer des examens complémentaires. Un simple abcès dentaire peut très bien être responsable des modifications observées. En un mot il faut répéter les examens, un résultat isolé a peu de valeur.

- Enfin, d'une façon générale, il ne faut pas s'attendre à observer des modifications de l'hémogramme lorsque les normes professionnelles d'irradiation ne sont pas dépassées. Celles-ci ont été déterminées avec un important coefficient de sécurité.

5 - UTILITE DE L'HEMOGRAMME

Néanmoins l'intérêt de cette surveillance hématologique est multiple.

- Le contrôle porte directement sur les effets sanguins tant dans les anomalies graves exceptionnelles que dans les anomalies légères regressives permettant ainsi de prendre toute mesure nécessaire.

- De plus elle révèle également par voie indirecte toute pathologie générale dont l'effet sanguin peut être le reflet.

- En outre la numération représente un examen objectif qui échappe aux erreurs individuelles volontaires ou non, ce qui n'est pas le cas du dosifilm.

- Enfin, il y a un effet totalisateur. Il faut éliminer les anomalies transitoires ou les contrôler et aboutir ainsi à une vue élargie dans le temps.

CHAPITRE IX

CONCLUSIONS

Certaines catégories de travailleurs sont professionnellement exposées aux radiations ionisantes : techniciens des Centres d'Energie Nucléaire, manipulateurs d'appareil de radiologie. Les dangers qu'ils encourent exigent une surveillance.

1/ Les Rayons X prennent naissance lorsqu'un faisceau de rayons cathodiques rencontre une plaque métallique (anticathode). On les obtient avec le tube COOLIDGE. Ce sont des radiations électromagnétiques de grande pénétration.

2/ La dosimétrie des radiations ionisantes fait appel à 2 unités : le ROENTGEN qui caractérise le faisceau incident, le REM qui caractérise l'interaction du milieu et du rayonnement.

3/ Les radiations provoquent des effets somatiques et peuvent induire des mutations génétiques. Elles agissent par ionisation.

Les tissus les plus sensibles sont les plus jeunes (embryon), les plus reproductifs (cellules germinales sexuelles), les moins spécialisés (cellules souches sanguines).

4/ Les normes professionnelles d'irradiation devant être respectées pour chaque travailleur sont pour l'organisme entier : 5 rem/an et 3 rem/trimestre.

5/ Les chambres d'ionisation permettent la détection et l'évaluation de l'irradiation sur les lieux de travail.

Le film photographique et le stylo dosimètre fournissent la dose subie.

La surveillance de l'hémogramme est la méthode biologique retenue.

6/ L'étude porte sur 64 Infirmiers Radiologues.

Elle utilise les résultats de 5 à 10 ans de surveillance.

L'ensemble représente plus de 650 examens hématologiques.

7/ Parmi les 64 individus étudiés, 27 dépassent régulièrement les normes professionnelles d'irradiation : 2 subissent une irradiation égale à 3 fois la dose maximum admissible annuelle, 1 subit 4 fois la dose maximum, et 1 une irradiation annuelle égale à 5 fois la norme tolérable.

- De toutes les variables hématologiques étudiées, seuls les leucocytes furent influencés de façon significative par les doses répétées de Rayons X, la variation se faisant dans le sens d'une leucopénie. L'anémie, l'inversion de formule, l'éosinophilie classiquement décrites ne furent pas observées.

8/ Ces modifications hématologiques décrites par d'autres auteurs sembleraient dûes à des irradiations plus importantes.

L'interprétation d'un hémogramme doit tenir compte des variations non pathologiques toujours possibles (émotion, infections intercurrents).

Malgré ces difficultés lors d'examens systématiques la surveillance hématologique conserve la valeur d'un contrôle direct et objectif de l'individu.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 J. M. CORK - Radioactivité et Physique Nucléaire, 1 Vol. Dunod 1960.
- 2 C. FRIEDLANDER, J. W. KENNEDY - Chimie Nucléaire et Radiochimie, 1 Vol. Dunod 1960.
- 3 M. TUBIANA - Les Isotopes Radioactifs en Médecine et en Biologie, 1 Vol. Masson 1950.
- 4 R. GARDEL - La Radioactivité, 1 Vol. France Sélection 1959.
- 5 H. JOFFRE - Les Problèmes Physiques de la Radioprotection, Génie Atomique t. 1 1963.
- 6 Dictionnaire des Sciences et Techniques Nucléaires, 1 Vol. Presses Universitaires de France 1964.
- 7 C. BENEZECH - Physico Chimie Biologique et Médicale, 1 Vol. Masson 1958.
- 8 J. BERNARD - Méthodes de Contrôle des Radioéléments Utilisés en Médecine, Thèse Lyon 1962.
- 9 Communauté Européenne de l'Energie Atomique - Directives fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des radiations ionisantes - J.O. Comm. Europ. 20/2/59.
- 10 A. LAUGIER - Les Nouvelles Recommandations de la Commission Internationale de protection contre les Radiations. Annales de radiologie 1960 3 (9.10).
- 11 J. DURGEAT - Irradiation et Protection du Personnel Hospitalier exposé aux radiations ionisantes suivant le poste de travail. Archives des Maladies Professionnelles 1963, 24 (12), 922-926.
- 12 Report of ICRP Committee II on Permissible Dose for internal Radiation (1959), Health Physics 1960, June 3.
- 13 J. J. NICKSON, H. N. BAR - Effets Physiologiques des Rayonnements, Radiation Hygiène Handbook 1959, Chapitre 19.
- 14 R. RINALDI, D'ALIX - Action de Doses fractionnées de Rayons X sur les protéines sériques et sur l'hémogramme chez la souris. Journal de Radiologie 1962 43 (10), 617.
- 15 A. MUNGO, G. CHIARELLO, P. PICOLI - L'Hémocoagulazione, il protido plasma et la crasi ematica nei soggetti esposti cronicamente a raggi X. Folio Medica 1962 45 (12), 1214-1226.
- 16 M. DELPLA - Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants et les Centrales Nucléaires, Mémoire de la Société des Ingénieurs Civils de France 1961 6, 41-58.
- 17 C. LABRAM - Accidents hématologiques des Radiations Ionisantes administrées à titre thérapeutique. Le Concours Médical 1963 6, 849.
- 18 A. BOURGUIGNON - Les Affections Professionnelles par Rayonnements Ionisants, Presse Médicale 1963, 48.
- 19 J. DUCUING, O. MILLIRZKY - Recherches expérimentales sur les Modifications Sanguines provoquées par les irradiations totales à l'aide de Rayons X. Sang 1937, 11, 483-504.
- 20 A. LACASSAGNE, G. GRICOUROFF - Action des Radiations Ionisantes sur l'Organisme. 1 Vol. Masson 1956.
- 21 CH. AUBERTIN, E. BEAUJARD - Action des Rayons X sur le sang et la moelle osseuse. Folia Haemat. 1908, 631-641.

- 22 H. JAMET, C. MATHE - Etude de Six Cas d'Irradiation Totale aigue accidentelle. Rev. Fcse d'Et. Clin. et Bio. 1959, 4, 210-225.
- 23 G. A. ANDREWS, B. W. SITTERSON - Hématological effects of the accidental radiation exposure at Y 12. ORINS 25 avril 1959.
- 24 J. H. DOUGHERTY - Comparaison of hématologic effects of internally deposited radium and plutonium in dogs. Radiology 1955, 65, 253- 259.
- 25 M. DELPLA, R. NUSSBAUM, P. FUNEL - Les Variations hématologiques provoquées par l'émotion. Nouvel. Rev. Fcse d'Hématologie 1963, 3 (3), 241-250.
- 26 F. KREIKER - Données hématologiques pour l'établissement des critères de radioprotection (en allemand) : Bundesminister Für Atomkenenergie Und Wasserwirtschaft 1957, 110-116.
- 27 L. HEILMEYER - La Forme hématologique des dommages dûs aux Rayonnements, leur détection et leur traitement (en allemand) : Strahlenschutz in Forschung und Praxis 1961, 82-105.
- 28 H. JAMMET - Bilan Général de l'Irradiation de l'Homme. Irradiation Naturelle et Irradiation Artificielle de l'homme. (Quinzaine des Sciences Nucléaires 24 mars-8avril 1962).
- 29 An anomalous lymphocyte : possibly diagnostic for exposure to ionising radiation on radiomimetic American Journal of Roentgenology Radium Therapy and nuclear medicine janv. 1964 91 (1).
- 30 M. FABER - Action des Doses Cumulatives Chroniques sur le Système Hémopoïétique (en allemand) : Sonderbande Zur Strahlentherapie 1964, 55, 42-48.
- 31 Action des Radiations Ionisantes sur le Système Hémopoïétique (en allemand) : Sonderbande Zur Strahlentherapie 1964, 55, 81-82.
- 32 CROIZAT, NOEL, REVOL - Hématologie Clinique, Camugli 1951.
- 33 R. GONZALEZ, L. BERUMEN - Etude de Cinq Sujets soumis à une irradiation Totale subaiguë accidentelle. Rev. Fcse Et. Clin. 1963, 8 (10), 1009-1011.
- 34 J. BERNARD, M. BESSIS - Hématologie Clinique, 1 Vol. Masson 1958.
- 35 Circulaire du 3 juin 1957, relative aux recommandations générales visant la Protection contre les Radiations Ionisantes. J.O. du 11 juillet 1957, p. 6825.
- 36 J. H. STERNER, W. L. SUTTON - Contrôle du Personnel. Radiation Hygiène Handbook 1959, ch. 23.
- 37 P. MURRANGE - Surveillance Médicale du Personnel Exposé aux Rayonnements Ionisants. Semaine Médicale 1963, 39 (5), 119-121.
- 38 R. COLIEZ, H. DESGIEZ, A. DAGNON - La Protection contre les Radiations Ionisantes. Enquêtes dans les Services Hospitaliers. Bull. Ac. Nat. Chir. 1958, 142, 335-338.
- 39 M. DELPLA, P. FUNEL - Variation spontanée de l'hémogramme moyen d'une population de Travailleurs. Rev. Fcse Et. Clin. et Bio. 1962, 7 (7), 752-754.
- 40 Modification de la Numération et de la Formule Sanguine chez les travailleurs occupés à l'extraction et à la préparation des matières radioactives (en russe) - Pracovni Le karkvi 1959 Vol. 14 n° 5 traduction CIS n° 317 C 63.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION - IRRADIATION EXTERNE.....	7
CHAPITRE I - RAYONS X.....	9
1/ Production.....	9
1.1 - Accélération électrique des électrons.....	9
1.1.1 - Ampoule de CROOKES.....	9
1.1.2 - Ampoule de COOLIDGE.....	9
1.2 - Accélération magnétique des électrons.....	10
2/ Mécanisme de Formation.....	10
2.1 - Collision.....	10
2.2 - Freinage.....	10
3/ Nature - Spectre énergétique.....	10
4/ Interaction du rayonnement X avec la matière.....	11
4.1 - Effet photoélectrique.....	11
4.2 - Effet de production de paires.....	11
4.3 - Effet COMPTON.....	11
CHAPITRE II - DOSIMETRIE.....	13
1/ But de la dosimétrie.....	13
2/ Grandeurs caractérisant l'interaction du milieu et du rayonnement.....	13
2.1 - RAD.....	13
2.2 - Efficacité Biologique Relative.....	13
2.3 - REM.....	14
3/ Grandeur caractérisant le Faisceau Incident.....	14
3.1 - ROENTGEN.....	14
3.2 - Débit d'exposition.....	14
4/ Unités utilisées au cours de cette étude.....	14

CHAPITRE III - EFFETS BIOLOGIQUES DES RADIATIONS.....	15
1/ Action Toxique.....	15
1.1 - Au niveau de la cellule.....	15
1.2 - A l'échelle du tissu.....	15
- Peau.....	15
- Organes Hématopoiétiques.....	15
- Glandes Génitales.....	16
1.3 - Pour l'Organisme entier.....	16
- Phénomènes aigus.....	16
- Phénomènes chroniques.....	16
2/ Mécanismes de l'action des Radiations.....	16
2.1 - Théorie de l'eau activée.....	17
2.2 - Théorie de la cible.....	17
3/ Facteurs intervenant dans les effets biologiques.....	17
3.1 - Facteurs liés au rayonnement lui-même.....	17
3.1.1 - Nature du rayonnement.....	17
3.1.2 - Facteur dose.....	17
3.1.3 - Facteur temps.....	17
3.2 - Facteurs liés à l'organisme irradié.....	18
3.2.1 - Sensibilité selon les espèces.....	18
3.2.2 - Sensibilité différente selon les tissus.....	18
3.2.3 - Facteur surface exposée.....	18
CHAPITRE IV - NORMES PROFESSIONNELLES D'IRRADIATION.....	19
1/ Principe d'établissement.....	19
2/ Normes individuelles.....	19
CHAPITRE V - SURVEILLANCE DU PERSONNEL PROFESSIONNELLEMENT EXPOSE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	21
1/ Méthodes Physiques.....	21
1.1 - Mesures Collectives.....	21
- Chambre d'ionisation.....	21
1.2 - Mesures Individuelles.....	22
1.2.1 - Emulsions photographiques.....	22
1.2.2 - Stylos Dosimètres.....	23
Stylos Electromètres.....	23
Stylos Condensateurs et Chambres d'ionisation individuelles.....	23
1.2.3 - Verres au métaphosphate d'Argent.....	23
2/ Méthodes Biologiques.....	24
2.1 - Radiosensibilité comparée des cellules sanguines.....	24
2.2 - Action des Radiations ionisantes sur le sang circulant.....	24

	Pages
2.3 - Action des Radiations ionisantes sur les Centres Hémoformateurs.....	24
2.3.1 - Action aplasiant.....	24
2.3.2 - Action hyperplasiant.....	25
2.4 - Manifestations hématologiques survenant après de longues expositions aux radiations ionisantes.....	25
2.5 - Surveillance de l'irradiation par l'hémogramme.....	25
2.6 - Désordres sanguins observés classiquement chez les sujets professionnellement exposés.....	25
2.6.1 - Série Blanche.....	25
2.6.2 - Série Rouge.....	26
 CHAPITRE VI - APPLICATION : SURVEILLANCE D'INFIRMIERS RADIOLOGUES ET MANIPULATEURS DE GENERATEURS DE RAYONS X.....	 27
1/ Buts de l'Etude.....	27
2/ Groupe d'Individus étudiés.....	27
2.1 - Conditions d'exposition.....	27
2.2 - Nature de l'exposition.....	28
3/ Surveillance Hématologique.....	28
3.1 - Méthodes Utilisées.....	28
3.2 - Valeurs Normales.....	28
3.3 - Normes Professionnelles.....	29
3.4 - Résultats.....	29
 CHAPITRE VII - ETUDE DES RESULTATS OBTENUS.....	 31
1/ Premier Procédé.....	31
1.1 - Classification selon la dose EBR Mensuelle Moyenne.....	31
1.1.1 - Irradiation individuelle.....	36
1.1.2 - Résultats hématologiques.....	36
1.1.3 - Sujets représentatifs.....	36
1.2 - Graphiques.....	38
1.2.1 - Histogramme des Moyennes des différentes variables en fonction de l'irradiation.....	38
1.2.2 - Graphiques divers.....	38
1.2.3 - Interprétation des graphiques.....	39
2/ Deuxième Procédé : Traitement Statistique à l'aide d'un Calculateur Electronique	55
2.1 - Choix et Classement des Variables.....	55
2.2 - Méthode de Calcul.....	56
2.3 - Résultats des Calculs.....	56
2.4 - Interprétation.....	60

	Pages
CHAPITRE VIII - COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC LES DONNEES CLASSIQUES.....	63
1/ Travailleurs exposés professionnellement à une irradiation externe et interne....	63
2/ Données Classiques.....	63
3/ Comment expliquer les divergences ?.....	63
4/ Validité de la surveillance Hématologique.....	64
5/ Utilité de l'Hémogramme.....	64
CHAPITRE IX - CONCLUSIONS.....	65

Manuscrit reçu le 4/1/65.

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN

Ouvrages scientifiques

TYPO - OFFSET

GAP (Hautes-Alpes)

Dépôt légal n° 217

1965

Vu et permis d'imprimer
LYON, le 16 octobre 1964
Le Président de la Thèse
P. CROIZAT

Le Recteur, Président du Conseil
de l'Université :
P. LOUIS

VU,
Le Doyen
J. F. CIER

